

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 1 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## Metanodotto Sestino – Minerbio DN 1200 (48"), DP 75 bar

### STUDIO PREVISIONALE SULLE VIBRAZIONI PRODOTTE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE TRENCHLESS IN PROGETTO

0	Emissione	F.NERI	M.AGOSTINI	A.BRUNI G.BRIA	22/01/2024
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato Autorizzato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 2 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLE VIBRAZIONI.....</b>	<b>13</b>
3.1	CONCETTI GENERALI.....	13
3.2	EFFETTI DELLE VIBRAZIONI SUGLI EDIFICI .....	17
3.3	RICHIAMO CONCETTUALE AL COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE .....	19
<b>4</b>	<b>FASI DI LAVORO DEI MICROTUNNEL E CARATTERISTICHE DELLE MACCHINE OPERATRICI .....</b>	<b>21</b>
4.1	FASI DI LAVORO PER LA REALIZZAZIONE DEI MICROTUNNEL .....	21
4.2	CARATTERISTICHE MACCHINE OPERATRICI .....	23
<b>5</b>	<b>RICETTORI E SORGENTI DI VIBRAZIONI ESISTENTI .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOFISICHE DELLE FORMAZIONI INTERESSATE DAI LAVORI.....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>ESEMPI DI REGISTRAZIONE DI VIBRAZIONI DOVUTE A MACCHINE OPERATRICI ..</b>	<b>33</b>
7.1	REGISTRAZIONE DELLE VIBRAZIONI DURANTE UNA PERFORAZIONE A ROTOPERCUSSIONE PER RICERCA DI ACQUA.....	33
7.2	VIBRAZIONI GENERATE DA MARTELLO DEMOLITORE SU ROCCIA IN VICINANZA DI EDIFICI .....	37
<b>8</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>44</b>
	<b>APPENDICE A – RICETTORI E GEOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
	<b>APPENDICE B – FASI DI LAVORO .....</b>	<b>75</b>

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 3 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 1 INTRODUZIONE

Con riferimento alla prescrizione n. 15 del Decreto di Compatibilità Ambientale DSA-DEC\_2008-0001693 del 09/12/2008 *“Considerate le modalità di realizzazione dei Microtunnel e la presenza in superficie di manufatti, prima dell’attivazione dei relativi cantieri, la società proponente dovrà presentare ad ARPA uno studio sulle vibrazioni indotte e relative mitigazioni o cautele da adottarsi”* la presente relazione vuole dare riscontro effettuando uno studio previsionale in merito ai potenziali impatti indotti dalle vibrazioni associate all’attività di perforazione dei tratti in Microtunnel, del progetto denominato “Metanodotto Sestino-Minerbio DN 1200 (48”), DP 75 bar”.

L’opera in oggetto, progettata per il trasporto di gas naturale con densità 0,72 kg/m<sup>3</sup> in condizioni standard ad una pressione massima di esercizio di 75 bar, è costituita da una condotta, formata da tubi di acciaio collegati mediante saldatura (linea) e da una serie di impianti e punti di linea che, oltre a garantire l’operatività della struttura, realizzano l’intercettazione della condotta in accordo alla normativa vigente.

Il “Metanodotto Sestino-Minerbio DN 1200 (48”) DP 75 bar” si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa km 140,700 e si origina in corrispondenza del comune di Sestino, in provincia di Arezzo.

L’opera in progetto, sviluppandosi inizialmente con direzione prevalente sud-nord, interessa il territorio montuoso della catena appenninica al confine tra Toscana ed Emilia Romagna per percorrere, successivamente, il fondovalle del Fiume Savio fino a raggiungere località “Monte Tiglio” ad ovest della città di Cesena. Da qui il tracciato, attraversando la porzione meridionale della Pianura Padana, si dirige verso nord-ovest sino ad affiancarsi all’esistente “Metanodotto Ravenna-Minerbio DN 750 (30”)” per piegare quindi a ONO e raggiungere il punto terminale, in corrispondenza dell’impianto esistente di Snam Rete Gas, in comune di Minerbio (Città Metropolitana di Bologna-BO).

La scelta del tracciato è stata dettata dall’assetto geologico e morfologico del territorio attraversato, assai articolato: da prettamente montuoso nel primo settore ad uniformemente pianeggiante in corrispondenza del tratto terminale della condotta.

L’andamento complessivo del tracciato della condotta può essere così suddiviso in tre tratti:

- Il primo tratto di percorrenza in ambito prettamente montuoso, tra il punto di inizio e il fondovalle del T. Marecchiola (21,1 km circa);
- la percorrenza lungo il fondovalle dei torrenti Marecchiola e Fanante e del fiume Savio (36,7 km circa);
- il terzo tratto di percorrenza del settore meridionale della Pianura Padana, tra il cesenate ed il punto terminale della condotta, in provincia di Bologna (82,6 km).

Nel primo tratto caratterizzato da un apprezzabile grado di naturalità, il tracciato è stato definito cercando di conciliare le problematiche legate sia alla natura e stabilità dei terreni attraversati e quindi alla sicurezza dell’opera, sia alle difficoltà tecnico-operative connesse alla realizzazione della stessa in un territorio a morfologia accidentata, con l’esigenza di limitare il consumo di aree naturali. Il tracciato presenta, così, lunghe percorrenze in cresta,

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 4 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

risalite e discese di versanti in massima pendenza in quanto tali soluzioni risultano essere le più idonee dal punto di vista tecnico ed ambientale.

La definizione del tracciato nel secondo tratto, ove il susseguirsi di centri urbani con le rispettive aree di urbanizzazione e la presenza di sviluppata rete di infrastrutture costituiscono il principale vincolo alla realizzazione dell'opera, ha tenuto essenzialmente conto dell'aspetto urbanistico. In un ambito territoriale ristretto ove vengono a confrontarsi esigenze diverse, a volte contrapposte, derivate dalle necessità di sviluppo urbanistico dei centri abitati e dalla esigenza di proteggere e conservare i residui spazi naturali; il tracciato presenta così frequenti diversioni da attribuire alla ricerca dei corridoi di passaggio tra le zone di urbanizzazione e sviluppo, nel rispetto delle distanze fissate dalle normative vigenti, e numerosi tratti di percorrenza sotterranea per superare gli speroni rocciosi ed aprirsi il varco in corrispondenza dei passaggi più angusti. In questo settore al fine di limitare l'imposizione di nuove restrizioni sul territorio si è, comunque e per quanto possibile, cercato di collocare la condotta parallelamente alla sede della superstrada E45.

Nel terzo tratto di percorrenza, la definizione del tracciato, in relazione alla uniformità geomorfologica dell'area ed alla situazione urbanistica, risulta decisamente più agevole. Il territorio, ormai completamente pianeggiante, è caratterizzato da pochi centri urbani separati da ampi appezzamenti agricoli coltivati a cereali e legnose agrarie. In tale contesto, il tracciato presenta un andamento caratterizzato da lunghi tratti rettilinei, in cui le uniche brevi diversioni marcano gli attraversamenti dei principali corsi d'acqua. Nel tratto si è comunque cercato di minimizzare l'imposizione di ulteriori servitù e limitare il "consumo" di aree naturali ponendo in corrispondenza degli ultimi 40 km circa di percorrenza la nuova condotta in stretto parallelismo all'esistente metanodotto "Ravenna - Minerbio DN 750 (30)".

Il presente studio è finalizzato a stimare l'intensità delle vibrazioni che saranno prevedibilmente generate durante le fasi di avanzamento delle frese nei microtunnels, con particolare riferimento alla possibilità che queste possano arrecare danni, strutturali o architettonici, agli edifici situati in prossimità delle aree di lavoro.

Lo studio è stato effettuato sulla base di:

- normative di riferimento per la classificazione della pericolosità delle vibrazioni;
- indagini geofisiche svolte nei siti interessati dalle suddette opere che ha consentito di valutare le caratteristiche dinamiche dei terreni che saranno attraversati;
- individuazione dei ricettori, ovvero quei manufatti che possono risentire delle vibrazioni dovute ai lavori e delle caratteristiche degli stessi;
- altri studi inerenti ("Previsione e misura delle vibrazioni dovute a cantieri edili" - Censini e Goretti 2000)

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 5 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La normativa di settore sulle vibrazioni è ancora mancante, ma esiste una normativa tecnica di supporto per il disturbo alle persone e per gli eventuali danni alle strutture. Più precisamente la valutazione delle vibrazioni può essere condotta utilizzando gli standard appositamente elaborati sia in sede internazionale (ISO) sia in sede nazionale (UNI):

Tutte le normative che trattano il problema dell'interazione tra le vibrazioni e gli edifici, prendono in considerazione il livello del picco massimo di velocità registrata al livello delle fondazioni dell'edificio e la sua frequenza.

### Normativa Comunitaria

- NORMA INTERNAZIONALE ISO 2631/1 (edizione 1997) Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo - Parte 1: Specifiche generali.
- NORMA INTERNAZIONALE ISO 2631/2 (edizione 2003) Stima dell'esposizione degli individui a vibrazioni globali del corpo - Parte 2: Vibrazioni continue ed impulsive negli edifici (da 1 a 80 Hz).
- NORMA INTERNAZIONALE ISO 4866 (edizione 1990) Vibrazioni meccaniche ed impulsi - Vibrazioni degli edifici - Guida per la misura delle vibrazioni e valutazione dei loro effetti sugli edifici.
- DIN 4150-3 1999 Le vibrazioni nelle costruzioni Parte 3: Effetti sui manufatti

### Normativa Nazionale

- NORMA UNI 11634 (2016) Linee guida per il monitoraggio strutturale.
- NORMA UNI 11048 (2003) Vibrazioni meccaniche ed urti - metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo.
- NORMA UNI 9670 (prima edizione 1990) Risposta degli individui alle vibrazioni - Apparecchiatura di misura.
- NORMA UNI 9513 (1989) Vibrazioni e Urti. Vocabolari.
- NORMA UNI 9916 (2014) Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.
- NORMA UNI 9614 (2017) Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.

Nel caso in esame la normativa da seguire è la UNI 9916 (2014) in quanto definisce i criteri di misura e la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 6 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## **UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”**

La presente norma sostituisce la UNI 9916:2004.

La norma fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misurazione, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Essa prende in esame fenomeni vibratorii, siano essi generati dall'attività antropica o naturali, di intensità modesta tale da produrre al più danni “architettonici”. I valori e le metodologie semplificate riportati non sono infatti, generalmente applicabili ai casi di insorgenza di “danno maggiore” per la cui valutazione è necessario ricorrere ad approfondimenti specifici da parte di esperti; per questo motivo effetti di vibrazioni generati da terremoti sono al di fuori del campo d'interesse della presente norma.

Le caratteristiche dei fenomeni vibratorii che possono interessare un edificio variano in modo sostanziale in funzione della natura della sorgente di eccitazione e delle caratteristiche dinamiche dell'edificio stesso. Per una corretta esecuzione delle misurazioni, premessa necessaria per giungere a descrivere completamente il fenomeno e valutare quindi la possibilità che esso produca danni, è necessario tenere conto dei seguenti fattori:

- meccanismo di eccitazione e trasmissione;
- durata del fenomeno;
- natura deterministica o aleatoria del fenomeno;
- distribuzione spettrale dell'energia.

### **Meccanismo di eccitazione e trasmissione**

L'eccitazione prodotta da una sorgente può presentarsi come un moto impresso all'edificio o come una forza applicata all'edificio o a suoi elementi; una possibile classificazione delle sorgenti può essere fatta in base ai seguenti meccanismi d'azione:

- trasferimento di energia tramite il terreno;
- trasferimento di energia per via aerea;
- applicazione diretta di una forza o (pressione) a componenti dell'edificio (pareti, solette ecc.) a cui la sorgente è collegata.

Si possono dunque identificare:

- sorgenti esterne all'edificio
- sorgenti interne all'edificio

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 7 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

### Durata del fenomeno

La durata, associata all'andamento temporale del fenomeno vibratorio, costituisce un elemento fondamentale per la valutazione del danno perché da queste grandezze dipende in modo essenziale l'accumulo di danno per fatica nei materiali. A tale scopo si possono distinguere due principali categorie di fenomeni:

- Fenomeni di lunga durata (o persistenti)
- Fenomeni di breve durata

### Natura deterministica o aleatoria del fenomeno

La natura aleatoria o non-aleatoria del fenomeno e la proprietà di stazionarietà sono di fondamentale importanza nella definizione della corretta procedura di misurazione e devono essere attentamente esaminate dallo sperimentatore che deve quindi eseguire un numero adeguato di registrazioni al fine di raccogliere informazioni sufficienti per caratterizzare completamente il fenomeno dal punto di vista statistico e della sua variabilità nel tempo.

In generale, la risposta di un edificio o dei suoi elementi strutturali sottoposti ad una vibrazione e quindi il danno potenziale che questa può produrre, dipendono, oltre che dal contenuto spettrale dell'eccitazione stessa, dalle caratteristiche dinamiche dell'edificio. Sarebbe dunque necessario ottenere una documentazione completa sull'edificio, prima di dare una valutazione del rischio di danno connesso con il fenomeno vibratorio in esame.

In particolare, l'attenzione dovrebbe essere concentrata sui seguenti aspetti:

- caratteristiche costruttive dell'edificio;
- stato di conservazione;
- caratteristiche delle fondazioni ed interazione con il terreno

La tipologia costruttiva, i materiali impiegati, le caratteristiche inerziali e di rigidità determinano la risposta dell'edificio all'eccitazione agente e la sua capacità di sopportare le sollecitazioni dinamiche.

Mentre lo stato di conservazione dell'edificio non influisce in modo sostanziale sulla risposta (le caratteristiche modali hanno, infatti, variazioni significative in termini di frequenze proprie e di smorzamenti soltanto in caso di alterazioni strutturali rilevanti), esso può essere di notevole influenza sull'entità del danno che le vibrazioni possono provocare.

Il degrado si manifesta con la presenza di cavillature, lesioni, distacchi di intonaco, in genere dovuti a cause diverse dalle vibrazioni (per esempio d'origine termica, dovute a cedimenti in fondazione o all'aggressione dell'ambiente, ecc.); queste cause possono determinare uno stato di sollecitazione locale elevato al quale viene a sovrapporsi la sollecitazione dinamica.

È dunque sempre auspicabile una verifica diretta del quadro fessurativo e deformativo esistente, per identificare eventuali fenomeni di degrado in atto e le loro cause.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 8 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Il piano delle misurazioni e la conduzione delle indagini deve permettere una chiara visione del fenomeno in esame e la raccolta di dati affidabili e chiari sui quali basare la valutazione del danno.

Le metodologie adottate devono quindi tener conto delle differenti caratteristiche dell'eccitazione e della risposta dell'edificio ma anche delle finalità dello studio intrapreso.

Gli aspetti di maggior interesse da tener presente nella impostazione della campagna di misurazioni sono i seguenti:

- scelta delle grandezze da misurare;
- scelta del tipo di trasduttore;
- requisiti di base della acquisizione;
- calibrazione del sistema di misura;
- scelta delle posizioni di misura;
- modalità di fissaggio dei trasduttori.

Di fondamentale importanza nelle attività di monitoraggio è la scelta dei parametri, in modo tale da poter seguire l'evoluzione del fenomeno fisico in tutte le fasi in cui si eseguono i rilievi.

I parametri da considerare devono descrivere al meglio il fenomeno, risultare facilmente misurabili e confrontabili con i dati disponibili.

La propagazione delle vibrazioni attraverso un mezzo elastico può essere caratterizzata attraverso tre grandezze di base:



- vettore spostamento;
- vettore velocità;
- vettore accelerazione.

Tali grandezze possono essere espresse rispettivamente in m, m/s e m/s<sup>2</sup>.

Da un punto di vista operativo, tuttavia, le tre grandezze non sono equivalenti perché intervengono (e divengono decisivi) problemi di natura sperimentale legati alle caratteristiche dei trasduttori disponibili sul mercato. In proposito si deve ricordare che:

- l'accelerazione è la grandezza più facilmente misurabile grazie alla disponibilità di strumenti inerziali (accelerometri) efficienti che possiedono sensibilità e risposta in frequenza adeguate e robustezza e facilità d'impiego elevata;
- la velocità è la grandezza generalmente utilizzata per definire parametri e valori di riferimento nella valutazione del danno (in quanto direttamente legata all'energia cinetica). La strumentazione inerziale esistente (sismometri, velocimetri, geofoni), pur essendo come l'accelerometro molto efficiente e affidabile, presenta però dei limiti nella risposta alle basse frequenze. Per questo motivo, specialmente quando si ha ragione di ritenere importanti le componenti del moto a bassa frequenza, è prassi comune misurare



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 9 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

direttamente l'accelerazione ed ottenere poi la velocità per integrazione del segnale. Quest'operazione tuttavia può introdurre errori, sia che venga eseguita in forma analogica oppure in forma digitale. Tali errori possono essere contenuti adottando adeguati procedimenti che devono quindi essere sempre descritti e giustificati nel rapporto d'attività;

- lo spostamento assoluto è di difficile misurazione perché i trasduttori di spostamento non sono di tipo inerziale e quindi necessitano di un riferimento esterno non soggetto a vibrazioni, raramente disponibile. È invece d'interesse la misurazione di spostamenti relativi fra parti strutturali (per esempio sui bordi di lesioni esistenti), perché possono essere indici della capacità del fenomeno vibratorio di produrre danni;

L'analisi dei dati registrati deve portare a stabilire se il livello delle vibrazioni possa essere causa di danni per l'edificio sotto controllo. Nell'analisi è necessario naturalmente tenere presenti non solo i danni diretti, quali per esempio: apertura di lesioni, perdita di adesione o caduta di pezzi d'intonaco o di gesso ecc., ma anche i danni indiretti; questi ultimi sono da collegarsi al fatto che le vibrazioni possono provocare in casi particolari una compattazione del terreno di fondazione che a sua volta può dare origine a piccoli assestamenti; questi possono determinare l'insorgenza di lesioni superficiali e conseguentemente una maggiore predisposizione all'aggressione da parte degli agenti chimici e fisici.

La valutazione della "pericolosità" del livello delle vibrazioni è dunque un processo complesso e delicato per il quale non esistono criteri validi in assoluto; la tecnica propone, in ogni caso, due approcci diversi (a volte da impiegarsi in parallelo)

### APPROCCIO TEORICO

In linea di principio è possibile utilizzare le tecniche dell'analisi dinamica per costruire un modello matematico della struttura ed individuare le sollecitazioni indotte dal fenomeno vibratorio.

Tuttavia, la costruzione di un modello in grado di fornire indicazioni sufficientemente attendibili del verificarsi di condizioni di danno di tipo architettonico è estremamente onerosa, fortemente dipendente dalla conoscenza di dettaglio dello stato dell'opera, e nel nostro caso anche delle caratteristiche dinamiche dei suoli, e per ciò stesso in genere assai poco affidabile.

È quindi sconsigliato l'approccio teorico per quanto previsto dalla presente norma, se non a carattere di primo indirizzo delle indagini, con scrupolosa verifica sperimentale successiva.

### APPROCCIO SPERIMENTALE

Nella prassi corrente si ricorre ad un metodo sperimentale, basato sul confronto dei valori misurati con dati ottenuti da osservazioni passate. È evidente che il problema diviene allora quello di identificare, da un lato, parametri sintetici che caratterizzano la "pericolosità" delle vibrazioni e dall'altro quello di fissare dei valori limite di danneggiamento validi per ogni tipo di edificio (o per categorie di edifici).

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 10 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

A tale proposito si sottolinea come non esista in letteratura una documentazione sufficientemente univoca per arrivare a definire valori assolutamente certi; sono comunque disponibili, nella normativa internazionale, alcuni prospetti, unitamente ad alcune indicazioni, tratte dalle rispettive norme, necessarie per un loro corretto utilizzo, che suggeriscono, in funzione del campo di frequenza interessato dal fenomeno, valori di riferimento per la p.p.v. o la p.c.p.v. al disotto dei quali si ritiene che non si abbiano danni;

Ai fini della valutazione della possibilità di danno architettonico nei casi generali si raccomanda di fare riferimento alle soglie contenute nella DIN 4150 parte 3.

La DIN 4150 fa riferimento alla "peak component particle velocity" (Velocità di picco di una componente puntuale: definita come il valore massimo (p.c.p.v.) del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione)

La DIN 4150 prevede che le misurazioni siano effettuate secondo tre assi mutuamente ortogonali: un asse ha direzione verticale, le due componenti orizzontali sono preferibilmente parallele/ortogonali ai muri dell'edificio. Le misurazioni possono essere effettuate anche con accelerometri mono o biassiali, purché in numero di tre, mutualmente ortogonali, e montanti su struttura rigida che garantisca che le misurazioni si riferiscano ad un unico punto.

La DIN 4150 specifica che i valori di riferimento indicati riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni.

Non sono contemplati gli effetti indiretti quali, per esempio, cedimenti provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni.

La DIN 4150-3 considera tre classi di edifici:

- edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili;
- edifici residenziali e costruzioni simili;
- costruzioni che non appartengono alle prime due categorie e sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici);

e due tipologie di vibrazione:

- vibrazione di breve durata;
- vibrazione permanente.

Per le vibrazioni di breve durata i valori misurati devono essere confrontati con la tabella seguente (vedi tab. 2.1/A):

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 11 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

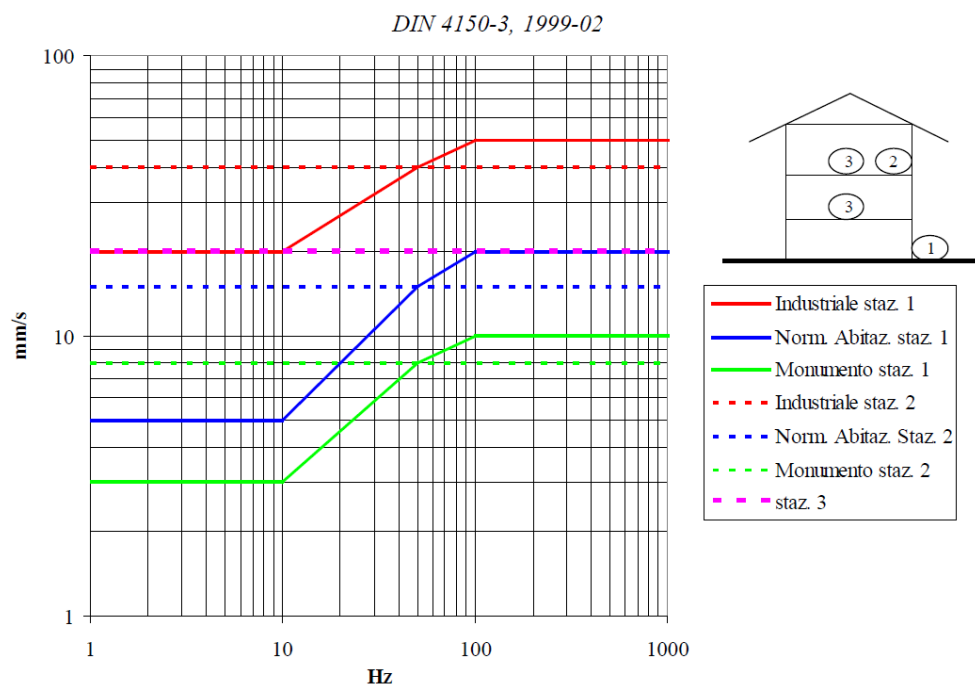
**Tab. 2.1/A: Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) a 50 ( $f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) a 20 ( $f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) a 10 ( $f=100$ Hz)	8	3/4

<sup>\*)</sup> Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

Il valore da utilizzare per il confronto con i limiti di cui al prospetto, sono ottenuti attraverso una particolare procedura.

La figura riportata nella pagina che segue riassume quanto esposto per le vibrazioni transitorie.



**Fig. 2.1/A: Vibrazioni transitorie**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 12 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

In presenza di vibrazioni continue che possano indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata, i valori di riferimento per le componenti orizzontali del moto sono indicati nella tabella seguente (vedi tab. 2.1/B) e sono indipendenti dal contenuto in frequenza del segnale.

**Tab. 2.1/B: Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

La presenza di questi cantieri, in zone prossime ad abitazioni o altri edifici sensibili, non può essere considerata permanente; tuttavia, in fase di valutazione del rischio, può essere prudente utilizzare questa condizione.

La normativa tratta il problema di interazione tra vibrazioni e edifici, prendendo in considerazione il livello del picco massimo di velocità registrato al livello delle fondazioni dell'edificio e la sua frequenza.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 13 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

### 3 CARATTERISTICHE DELLE VIBRAZIONI

Le vibrazioni originate da un punto "sorgente" sono trasmesse dal mezzo attraversato che ne modifica progressivamente le caratteristiche originarie di ampiezza e frequenza, in funzione delle caratteristiche di elasticità del mezzo stesso, della distanza tra la sorgente ed il punto di misura, dell'ampiezza del segnale emesso e del suo contenuto di frequenze.

#### 3.1 Concetti generali

Le vibrazioni sono onde che trasportano energia e si propagano, sia per alternanza di compressione-trazione del materiale nella direzione del moto, sia per alternanza direzionale delle tensioni trasversali alla direzione del moto.

Il modello fisico nel quale sono definite le equazioni del moto ondulatorio è valido nell'ipotesi che il terreno si comporti come un semispazio elastico, omogeneo, continuo e isotropo.

È necessario essere consapevoli che queste assunzioni sono, tanto necessarie per trattare analiticamente il fenomeno ondulatorio, quanto aleatorie nella loro applicazione ai terreni ed alle rocce alle quali queste caratteristiche possono essere applicate solo in prima approssimazione. Una conseguenza di tale approssimazione riguarda una certa dispersione dei dati delle misurazioni, anche se queste sono effettuate in condizioni controllate, come nel caso dei monitoraggi riportati di seguito.

Sulla base di queste ipotesi le onde elastiche possono essere distinte in:

- onda di compressione (onde P) a propagazione radiale nel semispazio sferico;
- onda di taglio (onde S): a propagazione radiale nel semispazio sferico;
- onda di superficie (onde Rayleigh e Love): a propagazione radiale lungo la superficie del terreno.

La **Fig. 3.1/A** mostra l'andamento dei fronti d'onda emessi da una sorgente energizzante il suolo e mostra la percentuale di energia totale che viene trasmessa da ciascun gruppo di onde.

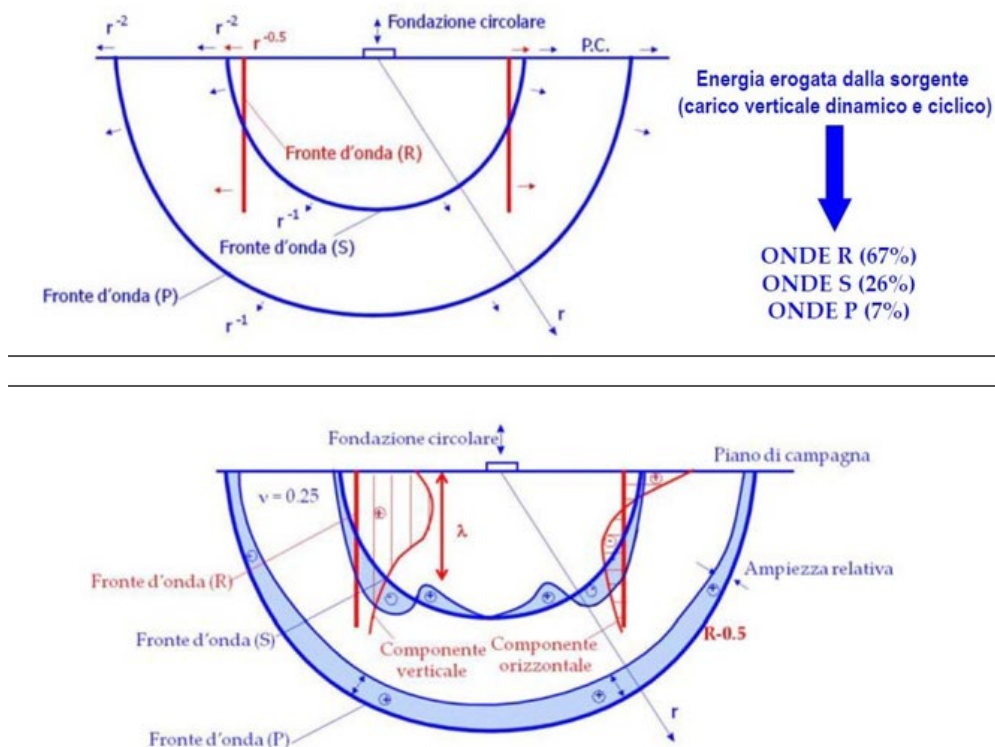
Quando la sorgente è superficiale le onde P e S si propagano, secondo fronti d'onda emisferici e le onde R secondo fronti d'onda cilindrici; il loro contenuto energetico diminuisce con la distanza dalla sorgente, dovendosi distribuire su superfici sempre più ampie, e con esso anche l'ampiezza dello spostamento indotto nel mezzo (smorzamento geometrico).

Nella parte inferiore della figura sono schematizzate le ampiezze delle onde ed il loro segno rispetto al fronte d'onda: le onde P hanno sempre lo stesso segno e variano poco lungo il medesimo fronte d'onda; l'ampiezza delle onde S varia in ampiezza e segno. Per le onde R la componente verticale ha segno costante, quella orizzontale cambia segno con la profondità. È significativo notare che l'ampiezza delle onde R decade rapidamente con la profondità: alla profondità di circa a  $1.5\lambda$  ( $\lambda$ =lunghezza d'onda) è pari a circa il 1/10 di quella in superficie).

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 14 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La **Fig. 3.1.B** conferma che la maggior parte dell'energia di una sorgente applicata alla superficie libera del suolo, si propaga sotto forma di onde superficiali: le onde di Rayleigh arrivano in ritardo rispetto alle onde P ma hanno un contenuto energetico decisamente maggiore (rappresentato tramite le aree evidenziate in rosso).





**Fig. 3.1/A: Distribuzione delle onde di spostamento, in un semispazio ideale, prodotte da una sorgente energizzante il suolo.**

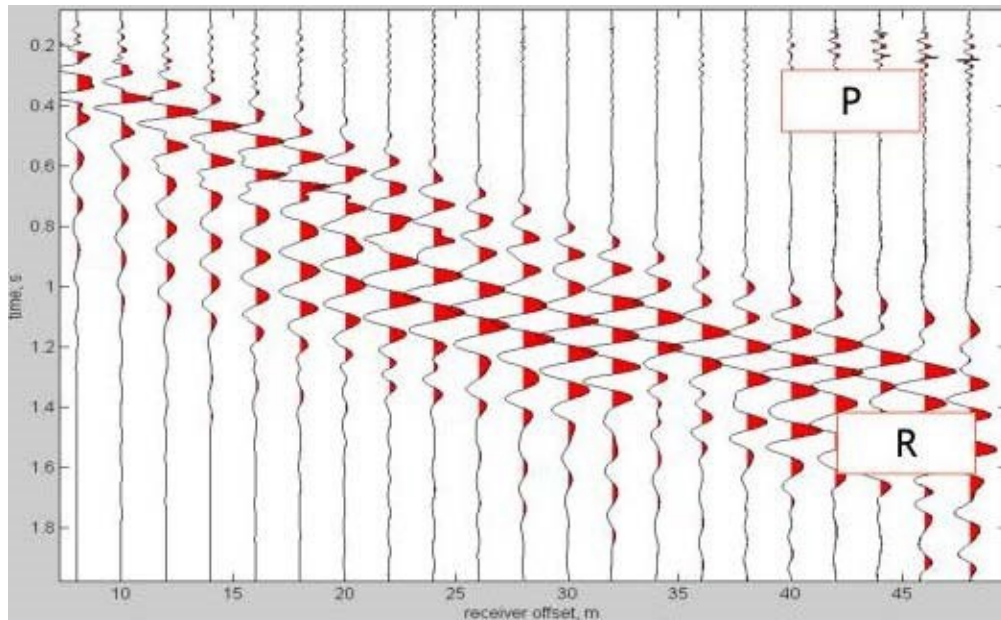
**Sopra:** forma dei fronti d'onda con la percentuale di energia totale che viene trasmessa da ciascun gruppo di onde. **Sotto:** ampiezza e segno delle onde rispetto al fronte

La maggior parte dell'energia viene trasmessa dall'onda R, anche perché questa si muove sulla superficie del semispazio lungo la quale gli effetti dissipativi dell'atmosfera sono trascurabili rispetto a quelli del suolo.

Dalla **Fig. 3.1/A** si evince anche che la riduzione dell'ampiezza di spostamento ad una distanza  $r$  dalla sorgente, è proporzionale a  $1/r^2$  per le onde P ed S e solo a  $1/r^{0.5}$  per le onde R. Le onde di superficie sono quindi le più pericolose per le strutture perché trasportano più energia e si smorzano a maggiore distanza dalla sorgente diventando predominanti su quelle di volume).

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 15 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145



**Fig. 3.1/B:** Registrazione di un sismogramma con evidenziati i treni d'onda P ed R

Le vibrazioni che si propagano attraverso un mezzo elastico possono essere caratterizzate con tre grandezze di base:

- il vettore spostamento,  $s = (s_x \ s_y \ s_z)$ , Unità di misura= m;
- il vettore velocità,  $v = (v_x \ v_y \ v_z)$ , Unità di misura= m/s;
- il vettore accelerazione,  $a = (a_x \ a_y \ a_z)$ , Unità di misura= m/s<sup>2</sup>.


Ciascuna di queste grandezze è trasformabile nelle altre per derivazione o integrazione ma, per l'acquisizione dei dati, è preferibile utilizzare uno strumento di rilevazione specifico.

Le normative di riferimento considerano generalmente i seguenti parametri:

- la velocità massima di vibrazione  $V_{max}$  (in mm/sec);
- la frequenza del segnale corrispondente al picco di  $V_{max}$ .

È noto che, a parità di accelerazione fornita al sistema vibrante, la velocità di vibrazione diminuisce drasticamente all'aumentare della frequenza. A titolo di esempio, la **Tab. 3.1/A** riporta i valori dell'ampiezza della velocità di vibrazione in funzione della frequenza per due diversi valori dell'accelerazione fornita alla sorgente, e la **Fig. 3.1/C**, ne mostra l'andamento grafico.

È noto che l'energia dissipata dall'onda per percorrere un certo tratto di spazio, sia inversamente proporzionale alla frequenza; ne consegue che l'energia trasportata da alte frequenze di vibrazione è dissipata più rapidamente rispetto alla medesima energia

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 16 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

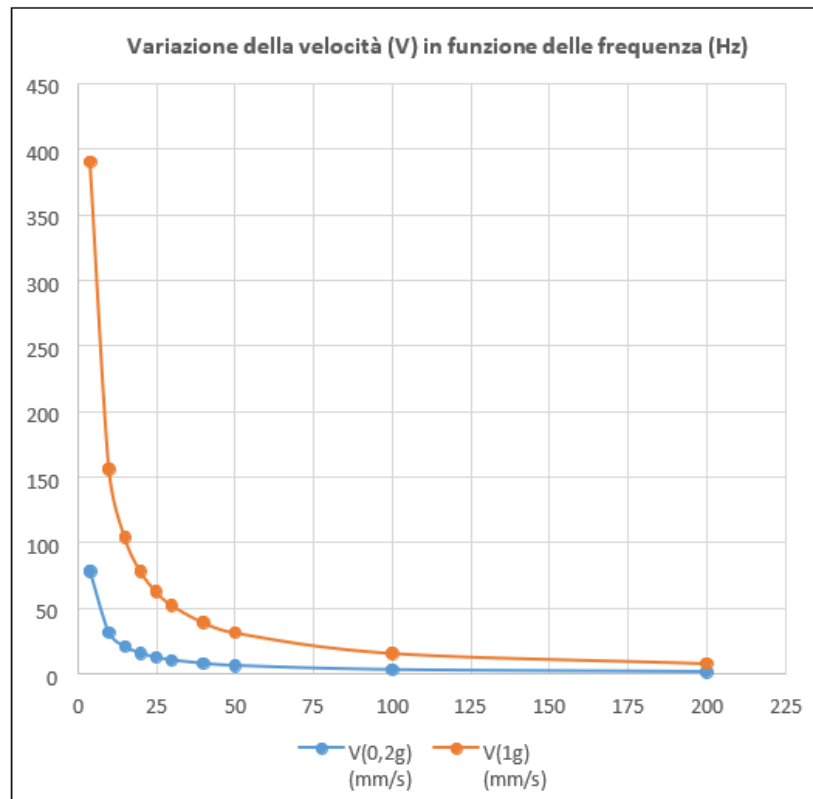
Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

trasportata da onde a bassa frequenza. Da ciò deriva che la pericolosità di una vibrazione diminuisce fortemente all'aumentare della frequenza del segnale ed anche le normative di riferimento recepiscono il fenomeno attribuendo limiti di pericolosità superiori per le vibrazioni caratterizzate da alte frequenze rispetto ai limiti imposti per le basse frequenze.

Da quanto esposto, deriva la necessità di caratterizzare la sorgente che genera le vibrazioni, non solo per la potenza che può utilizzare, ma anche per la frequenza dei segnali che genera; ad esempio: se un vibromaglio infinge una palancola utilizzando 30 impulsi al secondo, la frequenza dominante del segnale registrato sarà dell'ordine di 30Hz o superiore, a causa dei probabili fenomeni di interferenza. Analogamente, un martello demolitore produrrà impulsi alla frequenza con cui replica i suoi colpi.

**Tab. 3.1/A: velocità di vibrazione in funzione della frequenza**

Frequenza Hz	4	10	15	20	25	30	40	50	100	200
Velocità di vibraz. mm/s per 0,2 g	78,1	31,2	20,8	15,6	12,5	10,4	7,8	6,2	3,1	1,6
Velocità di vibraz. mm/s per 1 g	390,3	156,1	104,1	78,1	62,5	52,0	39,0	31,2	15,6	7,8



**Fig. 3.1/C** **Variazione dell'ampiezza della velocità di vibrazione in funzione della frequenza per due diversi valori dell'accelerazione fornita alla sorgente**



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 17 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Nel capitolo 4 si tratteranno specificatamente le caratteristiche generali dei mezzi e degli utensili che vengono utilizzati per lo scavo dei minitunnel per evidenziare le caratteristiche delle vibrazioni che questi possono produrre.

### 3.2 Effetti delle vibrazioni sugli edifici

Le strutture raggiunte dalle vibrazioni propagate attraverso il suolo, si comportano come un mezzo ulteriore che le trasmette dalla base alla sommità, e quindi anche l'altezza della struttura rientra tra i parametri che è necessario considerare nella valutazione dei potenziali effetti di un fenomeno vibratorio.

L'effetto di una sollecitazione variabile nel tempo dipende dalle seguenti caratteristiche delle onde:

- ampiezza: (a parità degli altri parametri) ad una maggiore ampiezza dell'onda vibrazionale consegue un maggior danno nella struttura;
- durata: (a parità degli altri parametri) ad una maggior durata della sollecitazione consegue un maggior danno a causa del decadimento prestazionale dei materiali soggetti a carichi ciclici (fatica).
- frequenza: il rischio di danno è tanto più elevato quanto più la frequenza è prossima alla frequenza propria della struttura (risonanza).

L'effetto dell'interazione tra vibrazione e struttura dipende quindi, sia dall'energia trasmessa dalla vibrazione, sia dalle caratteristiche di rigidità della struttura stessa.

Per quanto riguarda l'effetto dell'interazione tra le vibrazioni e gli edifici situati in prossimità della sorgente, entrano in gioco diverse componenti, alcune delle quali dipendono dall'edificio stesso.

Le componenti di attenuazione/amplificazione delle vibrazioni sono:

- attenuazione per dissipazione interna del terreno;
- attenuazione geometrica, in relazione al tipo di sorgente e di onda;
- attenuazione dovuta a ostacoli o discontinuità del terreno;
- attenuazione dovuta all'accoppiamento terreno-fondazione;
- attenuazione dovuta alla propagazione in direzione verticale nel corpo dell'edificio;
- amplificazione determinata a possibili effetti di risonanza dell'edificio
- amplificazione determinata dai solai.

Per quanto tali caratteristiche siano complesse da determinare analiticamente, nel loro insieme concorrono alla definizione del periodo proprio di vibrazione dell'edificio. In generale,

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 18 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

le strutture degli edifici, per altezze < 30 m, hanno periodi propri di vibrazione nell'ordine dei valori riportati nella seguente tabella (vedi tab. 3.2/A).

**Tab. 3.2/A: Periodi propri di vibrazione per le strutture degli edifici con altezza < 30 m**

<b>Tipici periodi propri di vibrazione per le strutture degli edifici con altezza &lt; 30 m</b>	
edifici residenziali, di altezze modeste	0.1 - 0.3 sec
edifici residenziali, di altezze elevata	0.5 – 1.0 sec
strutture in c.a. con nuclei di controvento	0.1 - 0.5 sec
strutture in acciaio con controventi	0.2 – 1.2 sec
strutture in c.a. senza nuclei di controvento	0.3 – 1.0 sec
camini in acciaio	1.0 - 1.5 sec
telai in acciaio non controventati	< 2 sec

Se si escludono i terremoti, che essendo sorgente di vibrazioni con elevati livelli energetici e producendo frequenze che rientrano nei campi sopra individuati, risultano molto pericolosi per le strutture, è molto raro che delle vibrazioni prodotte da fonti esterne all'edificio rientrino in questi intervalli di periodi, con livelli energetici elevati.

L'edificio può subire danni quando i materiali con i quali è costruito sono sottoposti ad una tensione superiore alla loro rispettiva soglia di resistenza a trazione. Dati i notevoli valori di resistenza a compressione dei materiali generalmente utilizzati nelle costruzioni, è difficile che si manifestino lesioni per superamento della soglia di resistenza a compressione del materiale (eccetto, come si è detto, nel caso di vibrazioni di eccezionali entità come quelle conseguenti ad un sisma).

Le lesioni subite dagli edifici possono essere distinte in estetiche e strutturali in relazione al livello di danneggiamento subito: un livello di vibrazione in grado di provocare danni solo agli intonaci o alle tamponature, non mette a rischio la sicurezza della struttura portante. Per questo le normative rivolte alla salvaguardia degli edifici (cfr cap. 5), che individuano valori vibrazionali di riferimento finalizzati alla prevenzione di danni estetici, risultano essere ampiamente cautelative nei confronti dei danni strutturali. Tali norme fanno riferimento a sorgenti vibrazionali prevalentemente di origine antropica mentre la sicurezza degli edifici nei confronti delle vibrazioni di origine sismica è tutelata da un'altra categoria di normative: le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC).

Per comprendere quanto sarà descritto nei capitoli seguenti in merito alla fratturazione di scaglie di roccia durante le trivellazioni di vario tipo, è opportuno rammentare che i terremoti si generano dalla fratturazione di settori di crosta terrestre che possono avere dimensioni nell'ordine dei chilometri quadrati. È comprensibile quindi, che l'energia liberata durante un evento sismico possa avere effetti devastanti sulle strutture, anche a notevoli distanze dalla

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 19 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

sorgente, mentre l'energia liberata dalla rottura di qualche centimetro quadrato di roccia ha effetti irrilevanti, già a brevissima distanza.

Le teste fresanti sono dotate di un numero variabile di utensili che dipende prevalentemente dal diametro e dalle caratteristiche della roccia, ma anche se gli utensili che lavorano "insieme" sul fronte dello scavo staccassero contemporaneamente il loro frammento l'area complessiva di distacco passerebbe dalla scala dei centimetri quadrati a quella dei decimetri quadrati, quindi assolutamente non comparabile con un evento sismico anche di modesta entità.

È, quindi, importante ribadire che esiste un'elevata differenza di scala tra le vibrazioni sismiche e quelle di origine antropica<sup>1</sup> e che, in entrambi i casi, il pericolo di danneggiamento di un edificio deriva più dall'attivazione di eventuali fenomeni di risonanza in corrispondenza di particolari frequenze, che dall'ampiezza della vibrazione a cui lo stesso edificio potrebbe essere soggetto su frequenze lontane da quelle caratteristiche.

### 3.3 Richiamo concettuale al coefficiente di attenuazione

Per comprendere l'analisi sismica realizzata, è utile fare un breve cenno su quello che esprime il parametro dell'attenuazione.

Quando un'onda elastica attraversa un mezzo, la sua energia meccanica viene progressivamente convertita in calore a causa di attriti e viscosità tra le particelle: la presenza di porosità, fratture, acqua, gas, determina un decadimento dell'energia dell'onda sismica modificandola in frequenza ed in ampiezza.

È noto che il terreno non è un mezzo perfettamente elastico e questa caratteristica può variare significativamente tra i vari tipi di terreno ed ancora di più tra terreno e vari tipi di roccia.

Dalla qualità del terreno  $Q$ , dipende la perdita relativa di energia  $E$  per dissipazione anelastica di ogni ciclo d'onda, secondo la seguente relazione:

$$\frac{1}{Q} = - \frac{\Delta E}{2\pi E} \quad (1)$$

nella quale

$\Delta E \leq 0$  è la frazione di energia dispersa per ciclo d'onda, nell'ipotesi  $|\Delta E| \ll E$

I terreni più "rigidi" trasmettono le vibrazioni meglio di quelli più "soffici" e le qualità anelastiche del terreno influiscono diversamente anche sullo spettro di frequenza delle vibrazioni trasmesse.

Dalla definizione di  $\Delta E$ , e definendo  $\Delta E(R)$  come l'energia spesa dall'onda a percorrere in un tratto di lunghezza  $\Delta R$  in direzione radiale rispetto alla sorgente, tale che:

$$\frac{\Delta E}{\lambda} = - \frac{\Delta E(R)}{\Delta R} \quad (2)$$

<sup>1</sup> compreso l'uso di esplosivo a scopo minerario

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 20 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

dove  $\lambda$  indica la lunghezza d'onda, si ottiene:

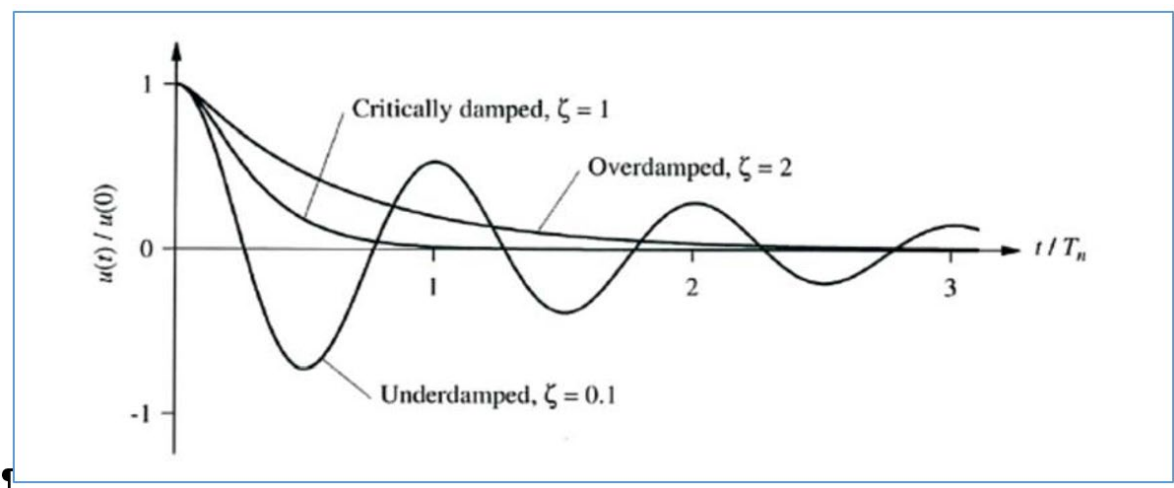
$$\frac{\Delta E(R)}{E} = \frac{\Delta E \Delta R}{\lambda E} = \frac{2\pi}{Q\lambda} \Delta R = \eta \Delta R \quad (3)$$

Dove  $\eta$  è il coefficiente di attenuazione.

Dall'equazione (3) appare chiaro come all'aumentare del fattore di qualità<sup>2</sup> diminuisce l'energia dissipata dall'onda nel mezzo e conseguentemente diminuisce il fattore di attenuazione.

La Fig. 3.3/A mostra un esempio grafico del fenomeno di smorzamento viscoso nel quale l'ampiezza si riduce nel tempo. Il grafico è presentato nel dominio del tempo ma il comportamento dell'oscillatore smorzato è analogo anche nel dominio dello spazio (distanza dalla sorgente).

L'entità dello smorzamento dipende inversamente dall'elasticità del mezzo che trasmette le vibrazioni.



**Fig. 3.3/A:** Esempio di smorzamento viscoso

<sup>2</sup> Intuitivamente correlato alla compattezza del terreno o della roccia

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 21 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

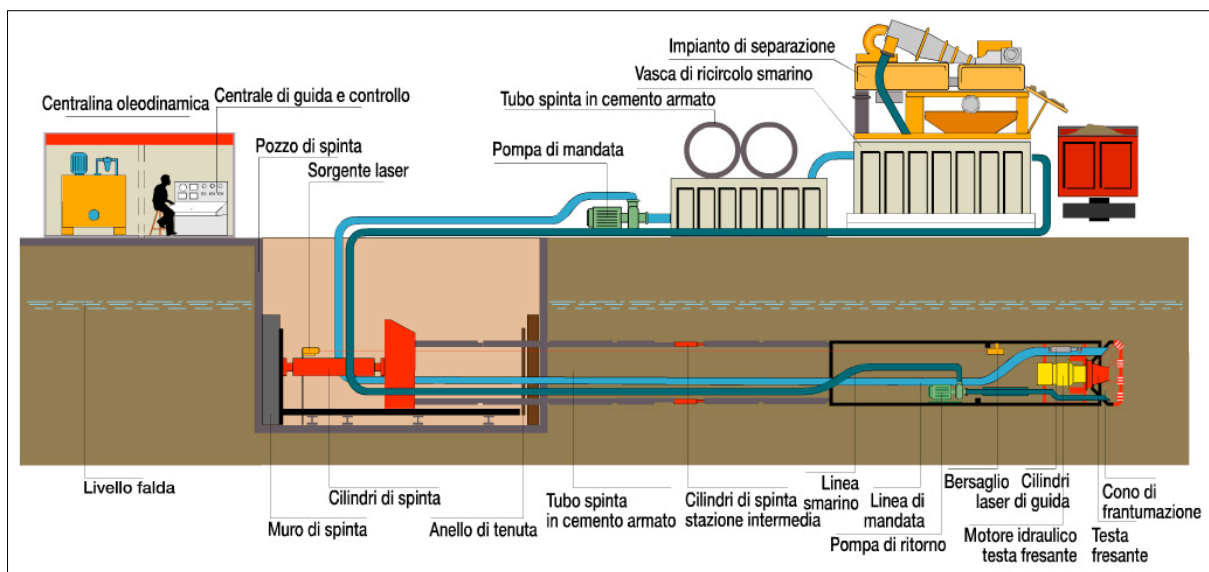
Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 4 FASI DI LAVORO DEI MICROTUNNEL E CARATTERISTICHE DELLE MACCHINE OPERATRICI

Nell'ambito della progettazione del metanodotto "Sestino-Minerbio DN 1200 (48")", DP 75 bar" è stata prevista la realizzazione di diversi microtunnel, al fine di attraversare delle aree caratterizzate da alcune criticità geomorfologiche. Di seguito si riporta una breve descrizione sintetica della tecnica di scavo dei Microtunnel. La descrizione dettagliata di tutte le fasi di lavoro è riportata in APPENDICE B – FASI DI LAVORO.

### 4.1 Fasi di lavoro per la realizzazione dei Microtunnel

Il sistema di costruzione mediante microtunnelling permette la realizzazione della posa della condotta in sotterraneo senza la necessità di scavi a cielo aperto, i quali saranno realizzati solamente in prossimità della postazione di partenza (Pozzo di spinta) e di arrivo dell'apparato fresante. Tale tecnologia prevede una perforazione direzionale del sottosuolo e la progressiva installazione di conci prefabbricati in c.a. aventi diametro maggiore della condotta in progetto (Fig. 4.1.A).



**Fig. 4.1/A: Tipica configurazione di cantiere per la realizzazione di un microtunnel in c.a. (fonte: Icop S.p.A.).**

Per conci in c.a. si intendono degli elementi tubolari interi in cemento armato che, preceduti da un apparato fresante, vengono spinti progressivamente nel terreno ed entro i quali sarà successivamente inserita la condotta in progetto.

Al fine di limitare le sollecitazioni sui conci potranno essere installate delle stazioni di spinta intermedie.

Nel caso in esame, lungo lo sviluppo della condotta è prevista la realizzazione di n.20 trechless mediante la tecnica del microtunneling, con diametro compreso tra 1800 e 2400 mm, che permetterà la posa in opera nel sottosuolo di una serie di tubi in c.a. mediante spinta.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 22 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Lo scavo del tunnel avviene mediante l'avanzamento di uno scudo cilindrico a cui è applicata frontalmente una fresa rotante dello stesso diametro dello scudo. L'avanzamento della testa fresante avviene mediante spinta degli elementi tubolari in c.a. che vengono infissi dalla postazione di spinta. Il diametro dello scavo, a sezione circolare, dipenderà dal diametro dei conci che devono essere infissi.

La lavorazione che può produrre vibrazioni che possano interferire con i manufatti è quella di scavo da parte della fresa rotante in sotterraneo limitatamente al momento di passaggio in prossimità delle opere.

Di seguito si riporta una tabella contenente il diametro minimo interno dei conci in c.a per le varie trenchless in progetto.

<b>TRONCO MICROTUNNEL</b>	<b>Diametro minimo conci c.a microtunnel [mm]</b>
<b>TRONCO 1 - SESTINO - CASTELDELICI</b>	
MOLINO DI BASCIO 1	2400
<b>MOLINO DI BASCIO 2</b>	<b>2400</b>
PALAZZACCIO	2000
<b>TRONCO 2 - CASTELDELICI - SARSINA</b>	
PALAZZO	1800
MONTE ZUCCOLA	2400
<b>C. CANTUCCIO</b>	<b>2000</b>
MONTE ROSCIANO	2000
<b>CA' DE SIMONE</b>	<b>2000</b>
<b>SORBANO</b>	<b>1800</b>
<b>ROMAGNANO</b>	<b>2000</b>
<b>TRONCO 3 - SARSINA – MERCATO SARACENO</b>	
PONTE DELLO ZINGARO	2000
SANZOLA	2400
LOC. SVINCOLO E 45	1800
LOC. PRIMA PERCORRENZA FIUME SAVIO	2000
LOC. SECONDA PERCORRENZA FIUME SAVIO	2400
<b>TRONCO 4 - MERCATO SARACENO - CESENA</b>	
LOC. MONTE TIGLIO	2000
LOC. CASETTO	2400
<b>TRONCO 5 - CESENA - FORLI'</b>	
<b>TRONCO 6 - FORLI' - RAVENNA</b>	
LOC. CANALE EMILIANO ROMAGNOLO	1800

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 23 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

<b>LOC. FIUME RONCO</b>	<b>2000</b>
<b>TRONCO 7 - RAVENNA (Loc.Costelloce) – RAV. (Fiume Lamone)</b>	
<b>TRONCO 8 - RAVENNA (Fiume Lamone) - ALFONSINE</b>	
<b>LOC. FIUME LAMONE</b>	<b>2000</b>

#### 4.2 Caratteristiche macchine operatrici

L'efficienza dei mezzi utilizzati per gli scavi può essere espressa in termini di energia necessaria a rimuovere, dal fronte di scavo, una certa quantità di materiale. Gli utensili e le macchine da scavo sono progettati per massimizzare l'energia impiegata per frammentare la roccia e minimizzare la quantità di energia trasferita al corpo roccioso come onda vibrazionale e dispersa in forma di calore.

Il processo di frammentazione della roccia da parte della testa di taglio è un processo dissipativo di energia, che coinvolge due modalità di frammentazione della roccia: comportamento fragile, nel quale l'energia è trasferita alla roccia per superare la sua resistenza a trazione e il comportamento, e duttile, nel quale l'energia è trasferita alla roccia per superare la sua resistenza al taglio e/o alla compressione. Con un aumento della pressione confinata, il comportamento alla rottura della roccia passa da una modalità fragile a una modalità semi-fragile e duttile, che richiede più energia per rompere la roccia. Le macchine operatrici tendono quindi a non applicare grosse pressioni sul fronte di scavo e frantumare piuttosto che a tagliare la roccia.

Le macchine operatrici solitamente utilizzate per gli scavi in sottoterraneo sono dotate di molteplici utensili che lavorano sulla stessa macchina. Nella Fig. 4.2/A si può vedere la testa perforante di una piccola macchina per microtunnel (circa 2 m di diametro) in cui si distinguono 18 dischi taglienti ed 8 scalpelli trasversali. Se il diametro aumenta, anche il numero degli utensili aumenta.

È importante sottolineare che il processo di asportazione della roccia per mezzo di utensili a disco si basa, sostanzialmente, sulla formazione ed il distacco di scaglie (chips) tra solchi adiacenti creati dal passaggio degli utensili rotolanti. Questo meccanismo di rottura è funzione delle proprietà meccaniche della roccia.

In questo senso, l'azione dei dischi durante la fase di rotolamento può essere ricondotta ad un sistema di tre forze composto da una componente normale alla superficie della roccia, una componente trasversale con direzione circolare coincidente con quella della traiettoria del disco ed una componente laterale diretta ortogonalmente al piano dell'utensile; la forza normale varia in continuazione a causa dell'azione di rotolamento del disco, per cui ogni utensile, lungo la sua traiettoria, effettua una percussione nella fase di indentazione ed una pressione per portare a rottura le scaglie di roccia sul fronte. La penetrazione del disco dipende dalle caratteristiche della roccia, dalla tipologia e dimensione del disco e dalla pressione fornita ad ogni utensile.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 24 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145



**Fig. 4.2/A: Esempio di testa fresante di microtunnel**

Tipicamente nello scavo con TBM, si ottengono penetrazioni per giro della testa che variano da qualche millimetro a 15 mm; tale fenomeno è interpretabile come il continuo avvicendamento di due fasi specifiche:

- indentazione della roccia al di sotto dell'utensile;
- formazione di fratture tra solchi adiacenti, che determinano il distacco delle scaglie di roccia.

Il detrito formato include, quindi, sia roccia polverizzata prodotta nel processo di indentazione, sia scaglie appiattite ( $5 \div 15$  mm di spessore), con lunghezza dell'ordine della spaziatura tra i dischi e larghezza due/tre volte maggiore dello spessore, dovute all'interazione tra le traiettorie dei dischi, concentriche, ma non coincidenti. (Fig. 4.2/B) La Fig. 4.2/C, mostra le parti del "cutter", evidenziando la circonferenza esterna con funzione di taglio (cutting ring) ed un allargamento più interno con funzione dislocante.

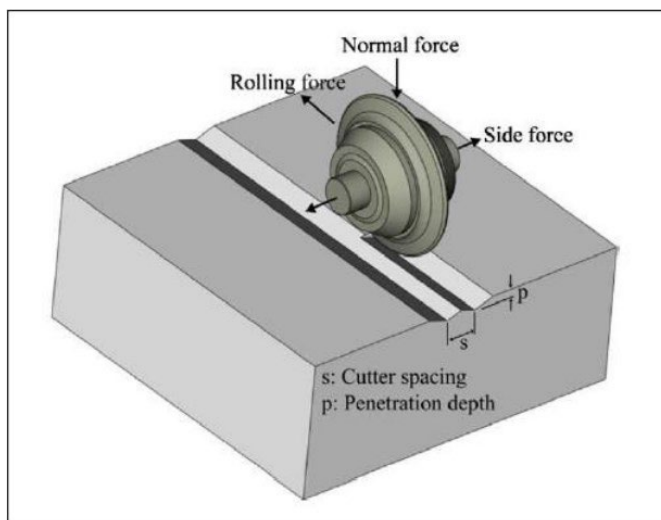
L'azione di molti utensili, rotanti sul proprio asse e contemporaneamente attorno all'asse centrale della fresa, genera un elevato numero di punti di rottura della roccia sul fronte di avanzamento e produce scaglie di piccole dimensioni. Tanto l'impatto dell'utensile nella fase di indentazione, quanto la rottura della scaglia di roccia sono una sorgente di vibrazione. Il numero delle sorgenti può quindi essere intuitivamente correlato al numero delle scaglie prodotte e l'ampiezza dell'onda prodotta da ciascuna rottura, può essere correlata alla dimensione delle stesse. Conseguentemente, il segnale trasmesso alla roccia circostante



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 25 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

sarà un treno di onde caratterizzato da componenti a frequenza elevata<sup>3</sup>, e dalla risultante dalla sommatoria dei molteplici impulsi emessi da ciascun utensile ad ogni rotazione della fresa. Poiché l'azione dei singoli utensili produce frammenti piccolissimi di roccia, l'intensità della vibrazione da loro emessa sarà estremamente modesta.






**Fig. 4.2.B:** Schema di lavoro dei dischi operanti sulla testa della fresa del microtunnel (da Cho et al., 2013).



**Fig. 4.2/C:** Esempio di disco tagliente operante sulla testa della fresa del microtunnel (dal sito di Herrenknecht,)

<sup>3</sup> Rispetto a quelle caratteristiche degli edifici

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 26 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Complessivamente la fresa produce vibrazioni di ampiezza sicuramente maggiore di quelle prodotte da ciascun utensile perché le vibrazioni prodotte in ciascun punto si sommano interferendo tra loro<sup>4</sup>. Non è però realistico ipotizzare che tutti gli utensili, rotanti a velocità differenti, perché distribuiti su raggi diversi<sup>5</sup>, producano vibrazioni con fase del tutto coerente o opposta sulle stesse frequenze. La composizione della vibrazione complessiva potrebbe essere ipotizzata come una sommatoria in cui, statisticamente, gli effetti costruttivi e distruttivi dell'interferenza si bilancino su un valore medio.

È opportuno segnalare, che le frese operano con basse velocità di rotazione (15-20 giri/minuto) che consentono all'utensile di indentarsi quasi staticamente superando la resistenza a compressione del materiale da scavare grazie alla pressione che sono in grado di esercitare i martinetti oleodinamici contro le strutture di contrasto concentrata sulla stretta sezione dei taglienti; le fessure si propagano tra solco e solco.

Al contrario le attrezzature di scavo per impatto<sup>6</sup> sono oggetti di dimensioni molto più modeste, relativamente leggeri, che frantumano il materiale trasferendo al fronte di scavo l'energia cinetica di una massa piccola ma dotata di velocità elevata.

Nel primo caso le vibrazioni sono prodotte soprattutto dalla rottura della roccia, nel secondo dall'impatto dell'utensile.

Si conclude sottolineando che minimizzare il disturbo della roccia circostante e sul fronte del foro, facilita il passaggio del corpo della macchina operatrice e del rivestimento definitivo. La generazione di forti vibrazioni infatti, può, aumentare la fratturazione della roccia circostante lo scavo e, conseguentemente, il rischio di potenziali cedimenti della calotta o di altre parti del tunnel. Se questo avvenisse, il materiale "sforrellato" potrebbe interferire con l'avanzamento della macchina o con quello dei conci, aumentando la forza di spinta necessaria alla progressione dello scavo fino al limite della resistenza a compressione assiale dei conci e/o al blocco della macchina. Sebbene questi rischi possano essere minimizzati con opportune precauzioni progettuali (es: stazioni di spinta intermedia), è evidente quanto minimizzare il disturbo della roccia da attraversare possa concorrere alla buona riuscita dell'opera.

Le vibrazioni eccessive possono comportare problematiche anche per la macchina operatrice che le genera e le riceve contemporaneamente, aumentando l'usura ed il rischio di rotture delle parti meccaniche, conseguentemente è anche un interesse dell'impresa esecutrice operare limitandone l'entità.

**Queste tecnologie *trenchless*, quindi, tendono a frantumare la roccia riducendo al massimo le vibrazioni all'esterno.**

4 Per ciascuna delle frequenze emesse, quando la vibrazione si somma in corrispondenza di fase, l'ampiezza della vibrazione aumenta (interferenza costruttiva) quando si somma in opposizione di fase l'ampiezza si riduce (interferenza distruttiva) Nel caso particolare di interferenza tra due segnali della stessa frequenza ed ampiezza iniziale, se interferiscono in fase l'ampiezza del segnale originale raddoppia, se in opposizione di fase il segnale si annulla

5 Senza considerare le disomogeneità del fronte di scavo

6 Martelli idraulici o martelli a roto percussione

 <b>PROPRIETARIO</b>	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 27 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 5 RICETTORI E SORGENTI DI VIBRAZIONI ESISTENTI

Per poter procedere allo studio previsionale sulle vibrazioni prodotte durante la realizzazione delle opere trenchless è stato necessario individuare i ricettori, ovvero quei manufatti che possono risentire delle vibrazioni dovute ai lavori.

La fascia di studio che è stata presa in considerazione è di circa 50 m per lato dalle aree di cantiere. Sulla base di studi precedentemente condotti, tale ampiezza di fascia può ritenersi cautelativamente sufficiente al fine di indagare l'area di propagazione delle onde.

Si riporta di seguito la tabella contenente, per ogni tronco e relativa trenchless, i vari ricettori e la relativa distanza dall'asse della trenchless in progetto.

Per un'univoca individuazione dei manufatti individuati in tabella (vedi tab. 5/A), in APPENDICE A – RICETTORI E GEOLOGIA vengono riportate le foto aree dell'area di intervento e le relative planimetrie catastali nelle quali vengono individuati i diversi ricettori. Per ogni opera per la quale sono stati individuati dei potenziali ricettori interessati si è anche riportata una sintesi delle caratteristiche geologiche dell'area.

**Tab. 5/A: Ricettori rilevati in corrispondenza dei microtunnel**

TRONCO MICROTUNNEL	LUNGHEZZA	TIPOLOGIA	PROGRESSIVA*	DISTANZA PLAN.	DISTANZA ALT.	DISTANZA
<b>TRONCO 1 - SESTINO - CASTELDELICI</b>						
MOLINO DI BASCIO 1	443					
MOLINO DI BASCIO 2	446	EDIFICIO	215	35	40	53.2
		STRADA	40	0	9	9.0
PALAZZACCIO	390					
<b>TRONCO 2 - CASTELDELICI - SARSINA</b>						
PALAZZO	168					
MONTE ZUCCOLA	575					
C. CANTUCCIO	432	EDIFICIO	0	50	20	53.9
		EDIFICIO	40	40	20	44.7
MONTE ROSCIANO	371					
CA' DE SIMONE	493	FOTOVOLTAICO	200	0	25	25.0
SORBANO	140	STRADA E45	0	15	0	15.0
		STRADA SP 138	80	0	28	28.0
ROMAGNANO	434	EDIFICIO-BARACCA	20	25	10	26.9
		EDIFICIO	180	50	60	78.1

	<b>PROPRIETARIO</b> 	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>		
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 28 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>	

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

**Tab. 5/A: Recettori rilevati in corrispondenza dei microtunnel (seguito)**

TRONCO MICROTUNNEL	LUNGHEZZA	TIPOLOGIA	PROGRESSIVA*	DISTANZA PLAN.	DISTANZA ALT.	DISTANZA
<b>TRONCO 3 - SARSINA – MERCATO SARACENO</b>						
PONTE DELLO ZINGARO	381	EDIFICIO	370	90	20	92.2
		STRADA E45		15	25	29.2
SANZOLA	448	EDIFICIO	270	60	43	73.8
		STRADA	425	0	6.6	6.6
LOC. SVINCOLO E 45	195	EDIFICIO	448	50	-0.7	50.0
		STRADA	50	0	6.5	6.5
LOC. PRIMA PERCORRENZA FIUME SAVIO	329	FABBRICATO	135	75	31.5	81.3
		STRADA		25	2.95	25.2
LOC. SECONDA PERCORRENZA FIUME SAVIO	408	EDIFICIO	180	80	22	83.0
		CAPANNONE	85	95	15	96.2
<b>TRONCO 4 - MERCATO SARACENO - CESENA</b>						
LOC. MONTE TIGLIO	529	EDIFICIO	45	25	10.5	27.1
		EDIFICIO	115	65	26	70.0
		EDIFICIO	150	60	28	66.2
		EDIFICIO	80	55	7	55.4
		EDIFICIO	135	35	15	38.1
		EDIFICIO	185	77	25	81.0
		EDIFICIO	350	30	32	43.9
		EDIFICIO	370	45	31	54.6
		EDIFICIO	495	30	2.2	30.1
LOC. CASETTO	305	EDIFICIO	529	60	2.5	60.1
		EDIFICIO	30	55	14.8	57.0
LOC. CASETTO	305	EDIFICIO	240	40	22	45.7
		EDIFICIO				
<b>TRONCO 5 - CESENA - FORLI'</b>						

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 29 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145


**Tab. 5/A: Recettori rilevati in corrispondenza dei microtunnel (seguito)**

TRONCO MICROTUNNEL	LUNGHEZZA	TIPOLOGIA	PROGRESSIVA*	DISTANZA PLAN.	DISTANZA ALT.	DISTANZA
<b>TRONCO 6 - FORLI' - RAVENNA</b>						
LOC. CANALE EMILIANO ROMAGNOLO	80					
LOC. FIUME RONCO	400	STRADA	271	0	11.4	11.4
<b>TRONCO 7 - RAVENNA (Loc.Costellocelo) - RAVENNA (Fiume Lamone)</b>						
<b>TRONCO 8 - RAVENNA (Fiume Lamone) - ALFONSINE</b>						
		EDIFICIO	255	50	13	51.7
LOC. FIUME LAMONE	340	EDIFICIO	255	60	13	61.4
		EDIFICIO	255	80	13	81.0

La distanza altimetrica del ricettore è stata valutata come la somma della distanza altimetrica data dalla sezione geologica tra la trenchless e il piano campagna, e la differenza della quota altimetrica, rilevata mediante Google Earth, tra ricettore e la proiezione della trenchless sul piano campagna.

È stata poi valutata, tramite Google Earth, la distanza planimetrica tra l'asse della trenchless e il ricettore.

A partire da questi valori è stata determinata la distanza tra ricettore e sorgente.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 30 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 6 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOFISICHE DELLE FORMAZIONI INTERESSATE DAI LAVORI

In ragione della estensione dell'area interessata dalla condotta per la ricostruzione dei caratteri geologici e geomorfologici, si è fatto riferimento ad ogni singola trenchless in progetto.

Sono stati, infatti, effettuati dei sopralluoghi e dei rilievi mirati che, unitamente alle informazioni di carattere bibliografico reperite e a seguito delle risultanze delle indagini geognostiche eseguite, hanno consentito di definire in generale le caratteristiche litotecniche dei terreni entro cui l'opera si inserisce.

In APPENDICE A viene riportata una sintesi dello studio effettuato per quelle aree in prossimità delle quali sono presenti edifici che potrebbero risentire delle vibrazioni dovute alle fasi di scavo.

La descrizione di dettaglio delle indagini indirette effettuate ed i risultati ottenuti sono presentati nelle **relazioni geologico- tecniche allegate alla presente (vedi All. 1 ÷ All. 14)**.

In generale è possibile notare che i terreni sono soggetti, verso l'alto, ad un progressivo processo di degradazione. La fratturazione del bedrock è variabile e, con la profondità, aumenta gradualmente di compattezza e riduce la fessurazione andando a costituire il bedrock vero e proprio.

La porzione più superficiale, prossima al p.c., più fratturata e detensionata, esposta maggiormente agli agenti esogeni, evidenzia una spinta degradazione in sabbie, limi ed argille.


Per alcune aree oggetto di studio è stata condotta un'indagine sismica, ovvero una prospezione sismica a rifrazione, che oltre a confermare quanto detto sopra, fornisce i valori delle velocità delle onde P.

Man mano che si procede dal bedrock al piano campagna la velocità delle onde P diminuisce.

Tali velocità sono direttamente correlabili con i moduli di elasticità dei materiali e, quindi, la propagazione e l'attenuazione delle vibrazioni è legata alle caratteristiche meccaniche degli stessi. In particolare maggiore è la rigidità del terreno, migliori saranno le caratteristiche meccaniche, maggiore sarà la velocità di propagazione delle onde e minore sarà l'attenuazione delle vibrazioni.

**Le opere superficiali, come trincee o sbancamenti in senso lato, compresi quelli situati nelle zone di imbocco delle opere trenchless,** interessano generalmente le coltri eluvio colluviali, il detrito di falda e/o lo strato superficiale, molto alterato, del substrato formazionale, cioè i terreni caratterizzati dalla minore tra le velocità di trasmissione dell'onda elastica rilevati durante la campagna di indagine geofisica. La bassa elasticità di questi materiali, non consente di propagare efficacemente le vibrazioni generate dai macchinari operanti, e quindi l'ampiezza di tali vibrazioni si riduce significativamente in già in un intorno limitato

**Le opere profonde,** invece, potranno interessare anche le formazioni più compatte in cui le vibrazioni generate possono trasmettersi verso le aree circostanti per un raggio più ampio grazie alla maggiore elasticità (ed anche a causa della maggiore resistenza al taglio) delle rocce interessate.

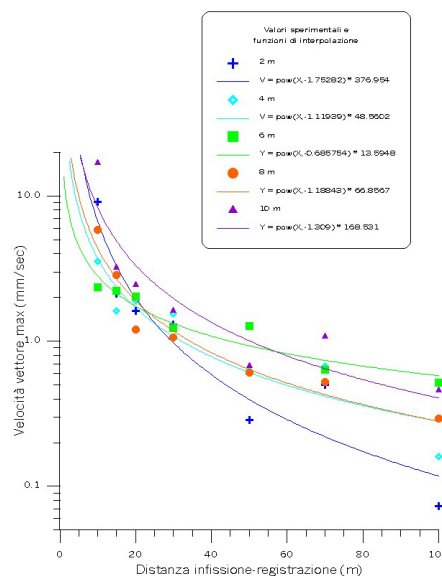
	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 31 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Nel merito, si cita lo studio “Previsione e misura delle vibrazioni dovute a cantieri edili” (Censini e Goretti 2000), che riferisce del monitoraggio vibrazionale effettuato su un cantiere nel quale delle palancole sono infisse nel terreno per l’azione di un maglio battente.

È opportuno evidenziare che questa metodologia di infissione è particolarmente impattante dal punto di vista vibrazionale perché l’energia di una massa battente (maglio) viene trasferita alla palancola impulsivamente, con l’impatto della massa battente sulla cuffia che protegge la testa della palancola. Le energie in gioco sono di circa due/tre ordini di grandezza superiori a quelle utilizzate per l’acquisizione dei dati geofisici (il principio di conservazione della quantità di moto impone che il maglio abbia un peso superiore a quello della palancola da infiggere, più quello della cuffia di protezione della testa della palancola).

L’immagine in Fig. 6/A riporta i livelli della vibrazione indotta dall’affondamento della punta della palancola nel terreno, registrati a varie distanze e per varie profondità, interpolati con curve ad andamento logaritmico che evidenziano la diminuzione dell’ampiezza segnale con la distanza (smorzamento).



**Fig. 6/A:** Grafico della variazione della velocità con la distanza per effetto dello smorzamento operato dai terreni presenti a varie profondità durante l’infissione delle palancole

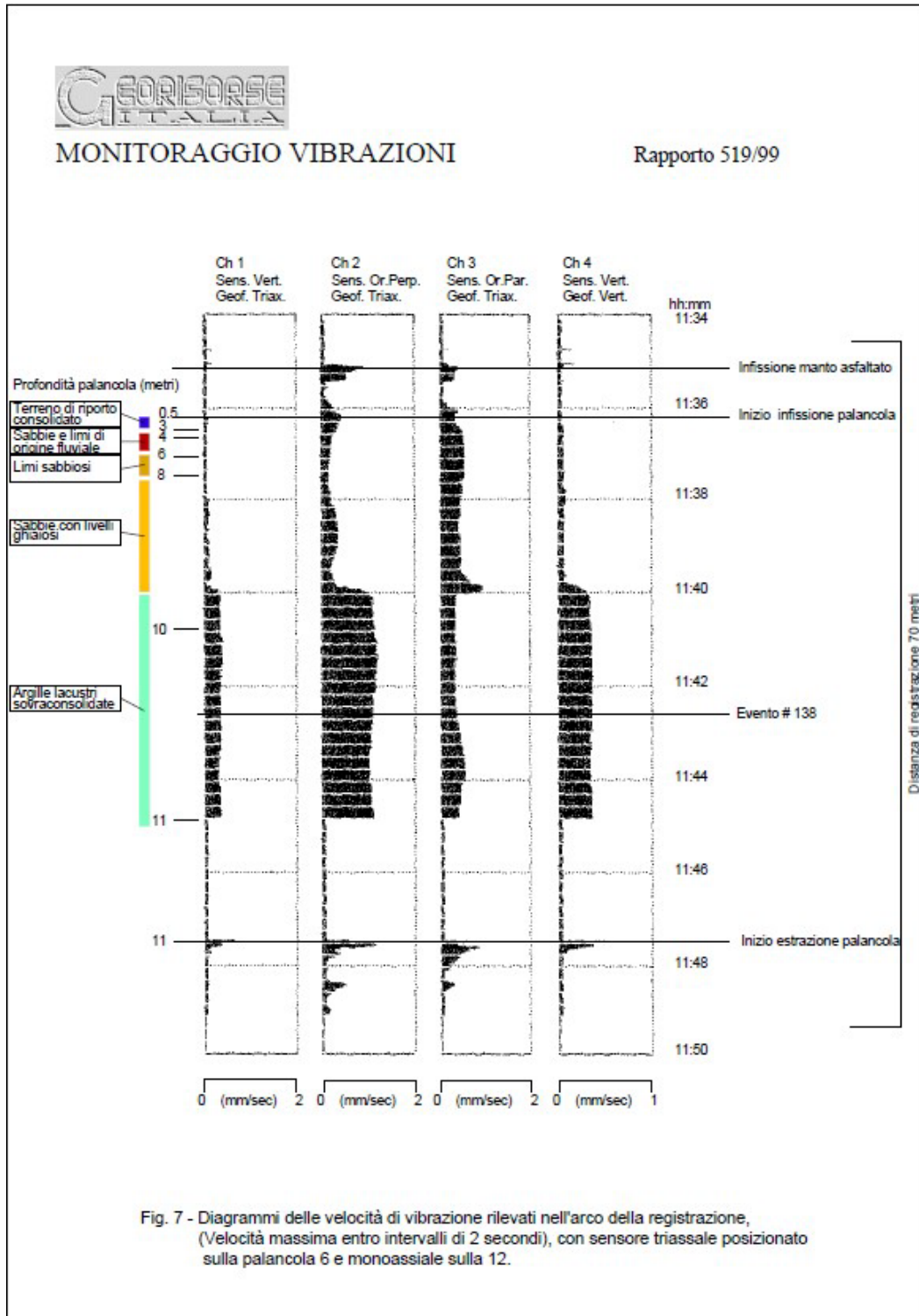
Ciascuna curva evidenzia che lo smorzamento diminuisce con la profondità in correlazione alle caratteristiche del terreno che variano secondo la stratigrafia riprodotta in **Fig. 6/B**.

A conferma di quanto indicato in precedenza si nota che:

- lo smorzamento tende a diminuire con la profondità e la distanza;
- lo smorzamento maggiore avviene in superficie, dove i terreni di copertura sono meno densi (linea e croci blu riferita alle registrazioni effettuate a – 2 m da p.c.).

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 32 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145



**Fig. 6/B: Stratigrafia dell'area monitorata durante l'infissione delle palancole**



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 33 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 7 ESEMPI DI REGISTRAZIONE DI VIBRAZIONI DOVUTE A MACCHINE OPERATRICI

Nei precedenti paragrafi si è proposta una valutazione qualitativa delle vibrazioni prodotte da una trivellazione, basata sulla modesta dimensione dei frammenti e della loro superficie di distacco; nel presente capitolo si forniranno degli esempi di monitoraggio effettuati per valutare i potenziali effetti su manufatti di vibrazioni prodotte durante perforazioni realizzate con tecnologie ad elevato trasferimento energetico <sup>7</sup>.

Non potendo prevedere analiticamente l'entità delle vibrazioni prodotte una determinata attrezzatura di trivellazione a causa del numero e della variabilità dei fattori che ne influenzano l'avanzamento, si può affermare che i limiti di distanza di sicurezza dagli edifici relativi all'uso di un martello fondo foro siano ampiamente cautelativi per tecnologie meno impattanti quali i microtunnel.

In questo capitolo sono presentati due esempi di monitoraggi effettuati in situazioni in cui i macchinari operanti trasmettono al terreno una energia elevata: il primo si riferisce al monitoraggio effettuato durante la perforazione di un pozzo per ricerca d'acqua, realizzato mediante un martello fondo foro; il secondo riguarda l'utilizzo di un martello demolitore per simulare l'effetto della realizzazione di micropali in roccia.

### 7.1 Registrazione delle vibrazioni durante una perforazione a rotopercussione per ricerca di acqua

La macchina di perforazione impiegata, presenta le seguenti caratteristiche:

- tipo: Martello a roto-percussione a fondo foro HYPER 41 (Bulroc UK);
- diametro: 152 mm;
- numero di colpi al secondo: 18 cps;
- energia del singolo colpo: 345 J.

Le registrazioni delle vibrazioni sono state effettuate mediante tre sensori velocimetrici verticali, con risposta in frequenza da 4.5 a 500 Hz ed in grado di fornire un segnale di 20 mV/mm/sec di velocità di vibrazione.

Per l'acquisizione dati è stato usato il sistema DAQ-LINK III, in grado di gestire fino a 24 sensori contemporaneamente, e di convertire il segnale elettrico in un segnale digitale a 24 bit.

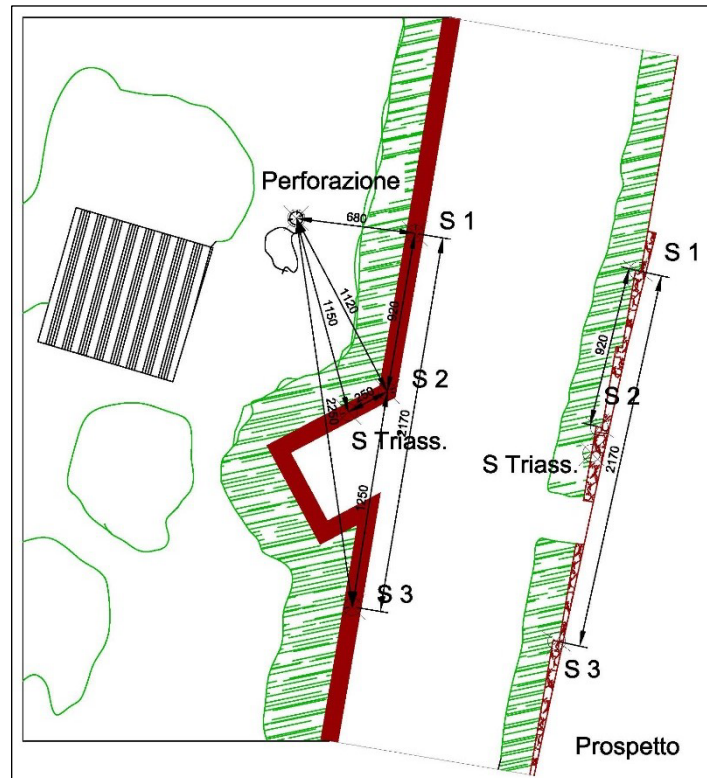
I suddetti sensori sono stati posizionati in maniera solidale (mediante tasselli ad espansione) lungo il muro di cinta della proprietà interessata dalla perforazione, a distanze di 6.8, 11.2 e 22.5 m. (vedi Fig. 7.1/A)

Le registrazioni hanno permesso di caratterizzare il fenomeno vibratorio, sia in termini di frequenza di colpi per secondo, sia in termini di ampiezza dei segnali. Durante la perforazione dei primi 6 metri, sono stati acquisiti 12 eventi vibratorii, ognuno di 2 secondi di durata, come da elenco in Fig. 7.1/B.

<sup>7</sup> Cfr nota precedente

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 34 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145



**Fig. 7.1/A:** Ubicazione dei sensori lungo il muro di cinta della proprietà interessata dalla perforazione a distanze di 6.8, 11.2 e 22.5 m

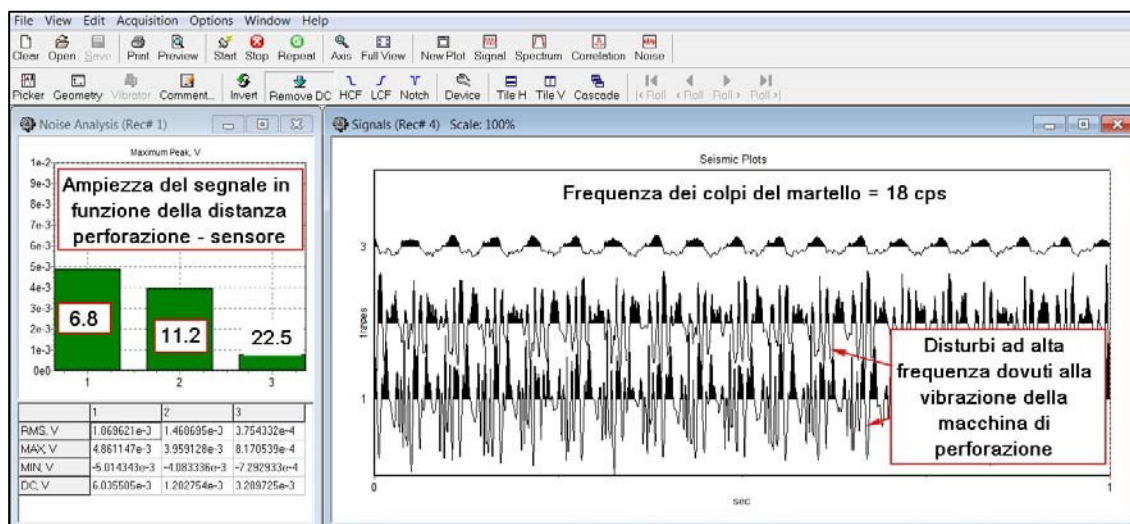
Index	Start ID	Start Date	Start Time	Start Delay	Comment
1	17929	13 nov 2015	10:39:50	1.90	test Orbetello Profondità 0.5 m
2	17930	13 nov 2015	10:42:39	34.30	test Orbetello Profondità 0.7 m
3	17931	13 nov 2015	10:44:23	23.50	test Orbetello Profondità 1.0 m
4	17932	13 nov 2015	10:49:32	2.40	test Orbetello Profondità 1.3 m
5	17933	13 nov 2015	10:50:59	2.80	test Orbetello Profondità 2.0 m
6	17935	13 nov 2015	10:52:19	3.80	test Orbetello Profondità 2.5 m
7	17936	13 nov 2015	10:53:32	0.90	test Orbetello Profondità 3.2 m
8	17937	13 nov 2015	10:58:01	35.80	test Orbetello Profondità 3.6 m
9	17938	13 nov 2015	11:00:22	11.40	test Orbetello Profondità 4.2 m
10	17939	13 nov 2015	11:01:33	3.80	test Orbetello Profondità 4.8 m
11	17940	13 nov 2015	11:03:12	2.10	test Orbetello Profondità 5.2 m
12	17942	13 nov 2015	11:05:14	58.50	test Orbetello Profondità 6.2 m

**Fig. 7.1/B:** Elenco della registrazione dei 12 eventi vibratorii acquisiti, ciascuno per 2 secondi, durante la perforazione dei primi 6 metri

Dell'evento evidenziato (n. 4 relativo alla profondità di 1,3 m dal p.c) si riportano, nella Fig. 7.1/C i sismogrammi relativi ai 3 punti di monitoraggio e l'analisi correlata.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 35 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145



**Fig. 7.1/C:** Sismogrammi e relativa analisi della registrazione n. 4 relativa alla profondità di 1.3 m dal p.c. evidenziata in Fig. 7.1/B

Di ogni sismogramma è stata presa in considerazione, come valore di picco, la media dei valori massimi e minimi espressa in mV.

Questi valori sono stati convertiti in valori di velocità, tenendo conto della costante dei sensori, cioè: 1.0 mm/sec = 20 mV


Si evidenzia che l'intensità misurata è relativa alla sola componente verticale, mentre il valore che si deve considerare nell'analisi di pericolosità, è il modulo del vettore la cui orientazione dipende da molteplici fattori, primo fra tutti la direzione di allineamento tra sorgente di vibrazione e punto di registrazione.

Per valutare l'effettiva ampiezza del fenomeno vibratorio, un secondo sistema di monitoraggio (ABEM Vibralock) è stato installato nel punto del geofono intermedio. Il secondo strumento fornisce le analisi puntuali della vibrazione nelle tre direzioni, ma non ne consente la registrazione nel tempo (sismogramma).

Con questo strumento sono state eseguite varie registrazioni e i dati ottenuti hanno permesso di stabilire un fattore di correlazione tra il Vettore massimo e la Componente verticale, trovando un rapporto di 2.78, a conferma che la direzione di propagazione delle vibrazioni era sostanzialmente orizzontale.

I risultati del monitoraggio sono stati interpolati con una funzione di tipo esponenziale negativo del tipo:  $V_{max} = Distanza^{-Coeff.Att} \times C$

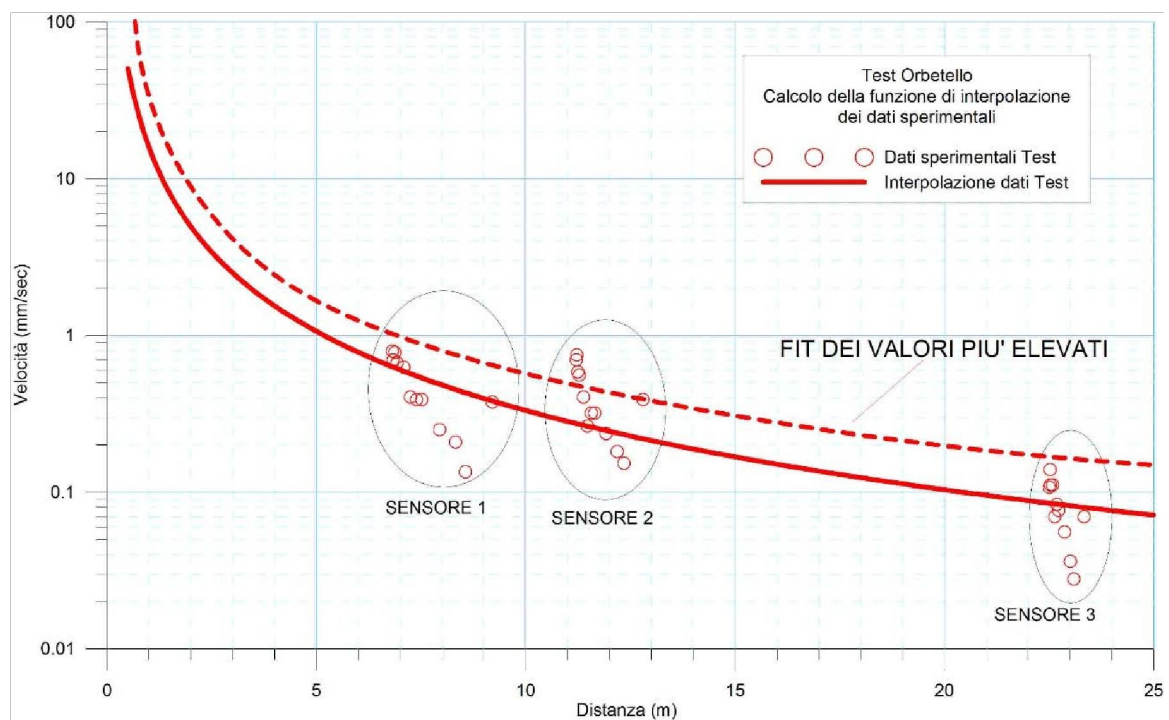
Ottenendo il seguente risultato:  $V_{max} = X^{-1.6782} \times 15.824$

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 36 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>


Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Dove  $V_{max}$ , è il valore scalare dell'ampiezza massima del vettore velocità atteso ad una determinata distanza dalla sorgente di vibrazione (X), e il Coefficiente di Attenuazione è l'esponente negativo del parametro distanza (quindi l'intensità delle vibrazioni decresce in maniera esponenziale con la distanza), mentre C è una costante legata alle caratteristiche di resistenza della roccia moltiplicata per l'energia del sistema che origina le vibrazioni.

La funzione ottenuta partendo dai dati sperimentali è riportata nel diagramma in Fig. 7.1.D, dove si può vedere che già a 10 m di distanza, i valori di velocità di vibrazione sono costantemente inferiori a 1.0 mm/sec.



**Fig. 7.1/D:** Dati sperimentali e relative curve di interpolazione logaritmica delle quali si desume che i valori di velocità di vibrazione sono inferiori a 1.0 mm/sec già a meno di 10 m di distanza dalla sorgente

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 37 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 7.2 Vibrazioni generate da martello demolitore su roccia in vicinanza di edifici

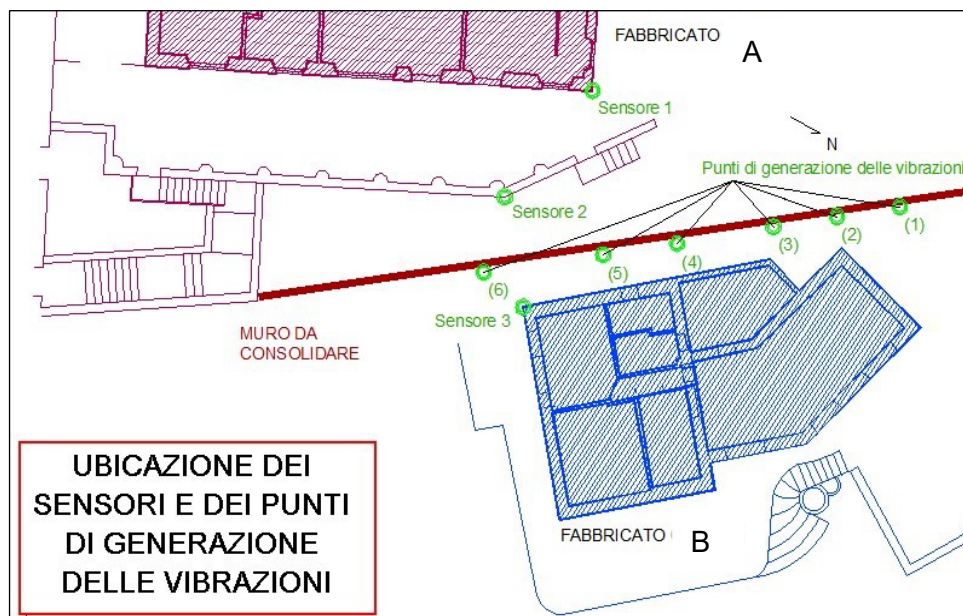
In occasione del progetto di consolidamento di un muro, per il quale era prevista la realizzazione di micropali da intestare in roccia, è stato effettuato un test per valutare i potenziali effetti della realizzazione dei micropali sui fabbricati limitrofi alla zona di intervento (7 dicembre 2015).

Non essendo possibile effettuare test preventivi nel sito interessato dal progetto con gli stessi mezzi che sarebbero stati usati in fase di cantiere, si è deciso di generare delle vibrazioni con uno strumento di energia nota e ripetibile e di effettuare, prima, un test in un'area nota per la quale fossero conosciute anche le caratteristiche dissipative dei terreni e poi, un monitoraggio specifico nel sito interessato dal progetto.

Per l'area test si è utilizzata la zona in cui è stato effettuato il monitoraggio presentato nell'esempio precedente, nella quale era stato effettuato il monitoraggio dello scavo di un pozzo utilizzando un martello a fondo foro, analogo a quello prevedibilmente usato per realizzare i micropali nel sito del progetto.

Come sorgente delle vibrazioni è stato utilizzato un martello demolitore Hilti mod. TE 1500 AVR, in grado di generare impulsi con frequenza di 27 colpi per secondo e con 30J di energia per ogni singolo di impatto. Prima di effettuare le registrazioni, la punta del martello demolitore è stata infissa fino al limite dell'avanzamento, in modo da poter assumere che tutta l'energia del sistema sia dispersa in forma di vibrazione, non essendo più dissipata per far avanzare la punta nella roccia.

La prova è stata eseguita posizionando tre sensori nei punti indicati nella planimetria riportata in Fig. 7.2/A (uno sulla proprietà B e due sulla proprietà A), generando vibrazioni nei punti indicati lungo il muro oggetto del progetto di consolidamento.



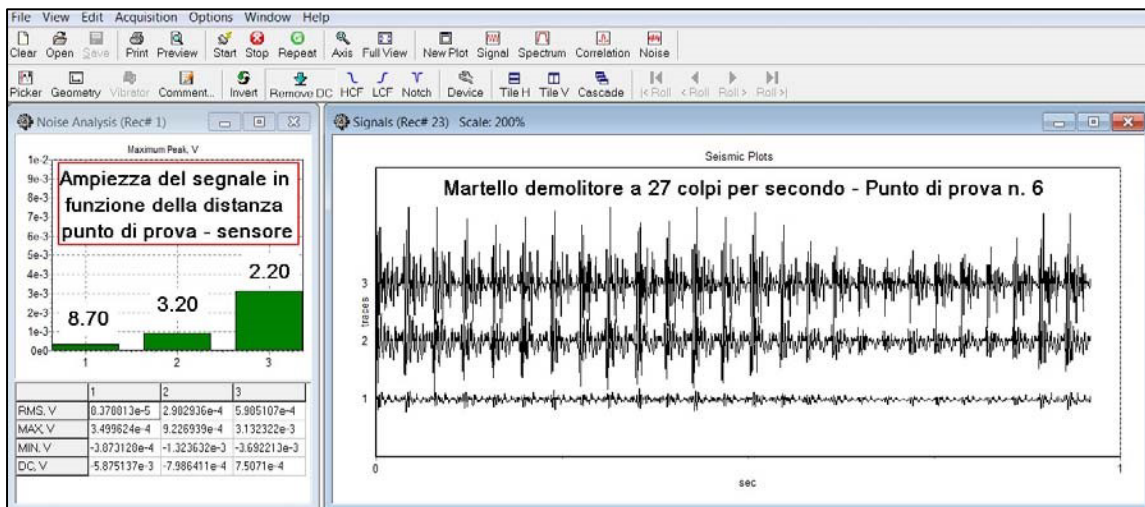
**Fig. 7.2/A: Planimetria dell'area di monitoraggio ed ubicazione dei tre sensori e dei punti di energizzazione**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 38 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Per ogni punto di generazione delle vibrazioni sono state effettuate più registrazioni in modo da avere una maggiore validità statistica.

Nell'immagine in Fig. 7.2/B si riportano i sismogrammi relativi alla registrazione n. 23 ed alle vibrazioni generate nel punto 6.



**Fig. 7.2/B: Esempio delle registrazioni effettuate: Sismogrammi relativi alla registrazione n. 23 ed alle vibrazioni generate nel punto 6**

Per ottenere il valore scalare massimo della velocità di vibrazione, tutti i dati sono stati processati come nell'esempio citato al capitolo precedente, cioè moltiplicando i valori del segnale elettrico (in mV) per il coefficiente di conversione in mm/sec (1mm/sec = 20mV) e per il rapporto tra vettore registrato ed il rapporto tra le componenti orizzontale e verticale, misurato nel corso del precedente monitoraggio.

Poiché il martello a fondo foro della perforatrice per realizzare il pozzo o i micropali in progetto, trasmette alla roccia un'energia molto superiore a quella che è possibile generare tramite il martello demolitore usato per il test, è stato necessario trovare un rapporto di correlazione.


L'impresa esecutrice del pozzo nell'area test ha fornito le informazioni sull'energia di impatto a disposizione della perforatrice, come riportato in Tab. 7.2/A.

Riassumendo: le energie fornite dai due differenti sistemi sono:

- 334.7 J per il martello a fondo foro;
- 30 J per il martello demolitore Hilti.

il loro rapporto è pari a 11.5

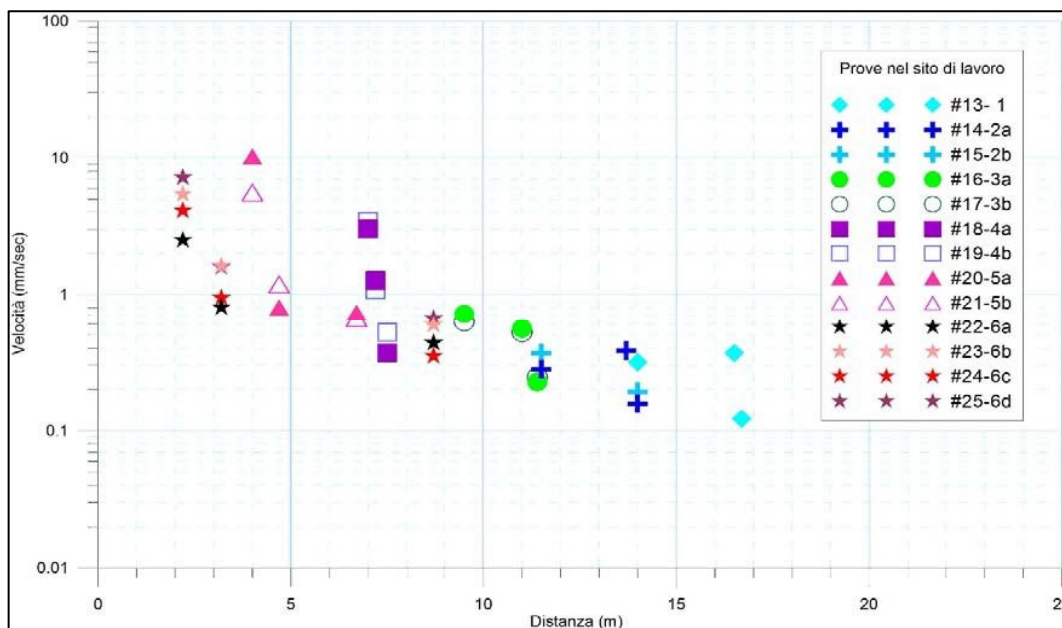
Applicando tale rapporto come fattore moltiplicativo, ai dati ottenuti tramite il martello demolitore, sono stati ottenuti i valori riportati nel grafico di Fig. 7.2/C:

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 39 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

**Tab. 7.2/A: Informazioni sull'energia di impatto a disposizione della perforatrice**

Parametri del sistema di perforazione							Parametri derivati				
massa del pistone e della punta da 152 mm	di diametro del pistone	di diametro della cavità interna	area della corona circolare	pressione aria compressa		numero di colpi	forza esercita sulla massa del pistone e punta	accelerazione prodotta sulla massa pistone + punta	tempo di applicazione della Forza un infinitesimo prima dell'impatto	velocità di impatto	energia impatto
Kgp	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Bar	N/cm <sup>2</sup>	n/sec	N	m/sec <sup>2</sup>	sec	m/sec	J
20,15	76,02	31,6	37,5	12	120	18	4505,50	223,6	0,026	5,8	334,7



**Fig. 7.2/C: Dati relativi all'azione del martello demolitore moltiplicati per il coefficiente 11.5 al fine di simulare l'azione del martello a fondo foro**

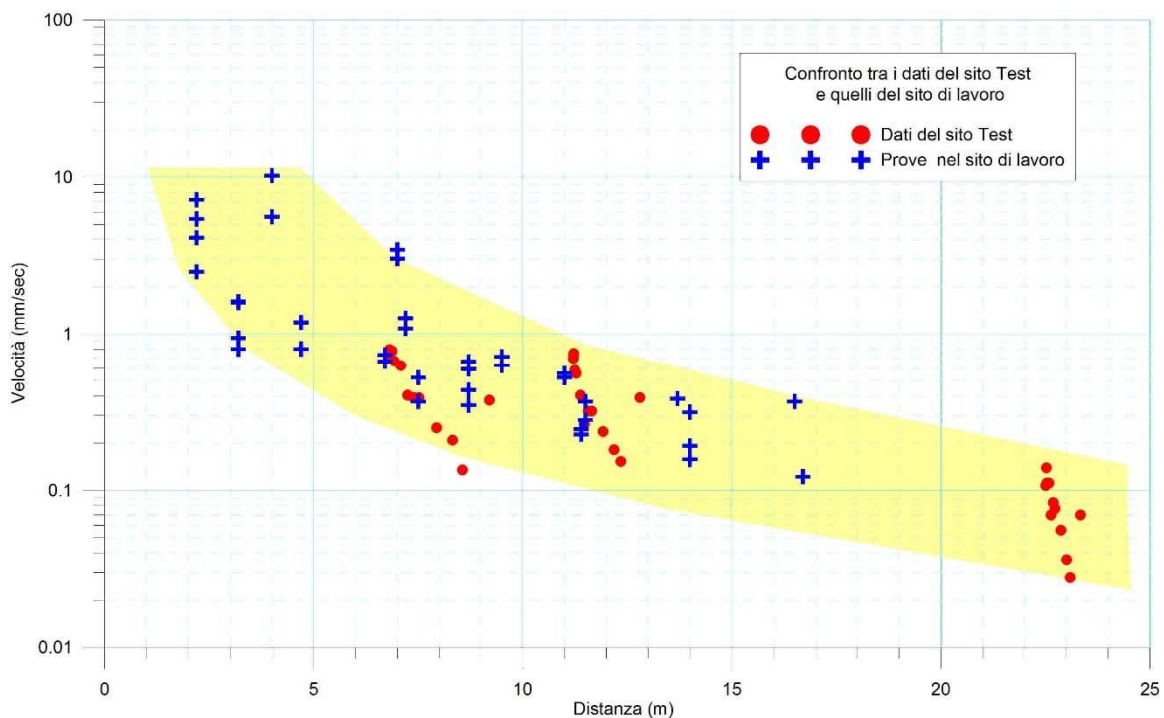
Nel grafico in Fig. 7.2/D sono riportati i dati delle prove effettuate nel sito test ed in quello del progetto e mostrano una discreta correlazione, confermando la validità della procedura seguita e la possibilità di estendere al sito del progetto, la curva di dissipazione ottenuta nel sito Test.

Questa funzione è riportata in Fig. 7.2/E dalla quale risulta che l'esecuzione di micropali mediante il sistema di scavo a percussione con martello a fondo foro, può comportare il rischio di provocare delle lesioni agli edifici posti in adiacenza alla zona di lavoro:

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 40 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- entro una distanza di circa 3.5 m dalla sorgente potrebbero verificarsi lesioni di carattere strutturale (fessure e distacco di parti di intonaco);
- entro una distanza di quasi 6 m dalla sorgente potrebbero verificarsi lesioni di carattere estetico (micro-fessure negli intonaci).

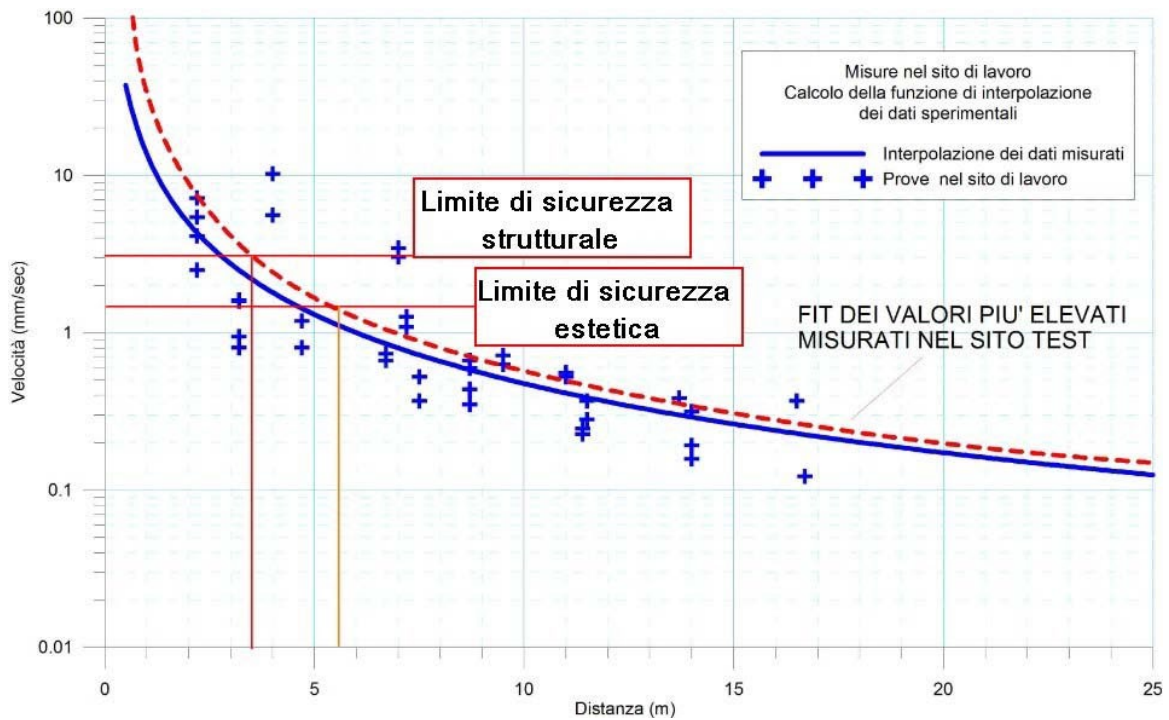


**Fig. 7.2/D: Confronto grafico dei dati ottenuti nel sito in cui è previsto di realizzare i micropali (crocette blu) e nel sito Test (pallini rossi)**




<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 41 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145



**Fig. 7.2/E:** Curva di smorzamento dell'ampiezza della velocità di vibrazione con la distanza dalla sorgente di emissione con evidenziati i limiti di sicurezza strutturale ed estetica.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 42 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio evidenzia come la vibrazione prodotta da una sorgente energizzante si attenua e si smorza con la distanza dall'origine, in funzione delle caratteristiche dei terreni attraversati (Fig. 4.2/A) e come, a parità dell'energia fornita dalla sorgente (accelerazione), l'ampiezza della velocità di vibrazione diminuisca rapidamente con l'aumentare della frequenza (Fig. 3.1/A).

Si è visto, inoltre, che la sensibilità degli edifici all'azione delle vibrazioni dipende molto dal contenuto di frequenze della vibrazione stessa che è tanto più pericolosa quanto più si avvicina alla frequenza propria della struttura coinvolta.

Sono stati descritti gli utensili comunemente utilizzati per realizzare dei microtunnel in progetto, evidenziando che la loro conformazione è finalizzata a produrre scaglie di piccola pezzatura per ottimizzare sia la produttività dell'avanzamento, sia la rapidità nella rimozione e nell'allontanamento dei frammenti. Un **accorgimento progettuale** utile ad incrementare l'efficienza degli utensili è, infatti, quello di aumentare il numero dei punti di contatto con la roccia per coprire al meglio la superficie del fronte di avanzamento e ripartire le forze sul fronte, minimizzando le sollecitazioni sui singoli denti (vedi Fig. 4.2/A).

È opportuno notare che, anche se ad una elevata qualità della roccia corrisponde una elevata velocità di trasmissione della vibrazione ed una minore capacità di attenuazione, quanto maggiore è la qualità della roccia integra (generalmente quantizzata in termini di resistenza a compressione monoassiale), tanto minore è la dimensione dei denti dell'utensile (per evitare che questi si spezzino piuttosto che rompere la roccia). Inoltre, un numero elevato dei punti di contatto, provoca una riduzione della dimensione delle superfici di distacco dei frammenti e l'emissione di vibrazioni di ampiezza molto modesta con elevata frequenza. Pertanto, utensili utilizzati nella realizzazione dei minitunnel, generano vibrazioni di frequenza più elevata rispetto a quelle considerate potenzialmente pericolose per gli edifici (che le Normative vigenti indicano generalmente superiori a 10Hz, o inferiori a 0,1 sec).

Per quantificare il fenomeno dello smorzamento delle vibrazioni con la distanza dalla sorgente, sono stati portati ad esempio due monitoraggi effettuati in condizioni di elevata energia della sorgente, dai quali risulta che la realizzazione di micropali scavati in roccia con martello a fondo foro, potrebbe risultare critica nei confronti di eventuali edifici presenti in adiacenza all'area di intervento, fino ad una distanza di circa 6 m dalla sorgente (Fig. 7.2/D).

Si evidenzia che la normativa relativa alla progettazione dei metanodotti in oggetto prevede che la condotta sia posta ad una distanza planimetrica di almeno 20 m dagli edifici, una distanza decisamente superiore rispetto a quella massima per la quale sono potenzialmente possibili danni estetici agli edifici, se fosse in azione un martello perforatore a fondo foro, e ed ulteriormente maggiore rispetto a quella per la quale sarebbero potenzialmente possibili danni strutturali.

Considerando che a fronte delle elevate energie trasmesse al terreno dai colpi del martello a fondo foro, non risultano a rischio gli edifici posti a distanza superiore a 6 m dalla sorgente, è possibile affermare che le vibrazioni prodotte con l'utilizzo delle tecnologie microtunneling non possono arrecare danni agli edifici limitrofi.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 43 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

L'ampiezza di tali vibrazioni è, infatti, prevedibilmente inferiore di almeno un ordine di grandezza rispetto a quelle prodotte dal martello a fondo foro e la distanza dagli edifici è ampiamente di sicurezza rispetto a quella rivelatasi potenzialmente insicura nel sito di monitoraggio.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 44 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## 9 ALLEGATI

1. 10-LA-E-80016\_r4 Realizzazione Microtunnel Loc. Molino di Bascio 2  
Relazione Geologico-Tecnica
2. 10-LA-E-80020\_r4 Realizzazione Microtunnel Loc. Colle Cantuccio  
Relazione Geologico-Tecnica
3. 10-LA-E-80023\_r4 Realizzazione Microtunnel Loc. Ca de Simone Relazione  
Geologico-Tecnica
4. 10-LA-E-80024\_r4 Realizzazione Microtunnel Loc. Sorbano Relazione  
Geologico-Tecnica
5. 10-LA-E-80025\_r4 Realizzazione Microtunnel Loc. Romagnano  
Relazione Geologico-Tecnica
6. 10-LA-E-80026\_r3 Realizzazione Microtunnel Loc. Ponte dello Zingaro  
Relazione Geologico-Tecnica
7. 10-LA-E-80027\_r3 Realizzazione Microtunnel Loc. Sanzola Relazione  
Geologico-Tecnica
8. 10-LA-E-80031\_r3 Realizzazione Microtunnel Loc. Svincolo E45  
Relazione Geologico-Tecnica
9. 10-LA-E-80310\_r1 Loc. Percorrenza Fiume Savio 1 Relazione Geologico-  
Tecnica
10. 10-LA-E-80311\_r1 Loc. Seconda Percorrenza Fiume Savio Relazione  
Geologico-Tecnica
11. 10-LA-E-80033\_r3 Realizzazione Microtunnel Loc. Loc. Monte Tiglio  
Relazione Geologico-Tecnica
12. 10-LA-E-80045\_r1 Realizzazione Microtunnel Loc. Casetto Relazione  
Geologico-Tecnica
13. 10-LA-E-80035\_r4 Realizzazione Microtunnel Loc. Fiume Ronco  
Relazione Geologico-Tecnica
14. 10-LA-E-80044\_r3 Realizzazione Microtunnel Loc. Fiume Lamone  
Relazione Geologico-Tecnica

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 45 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

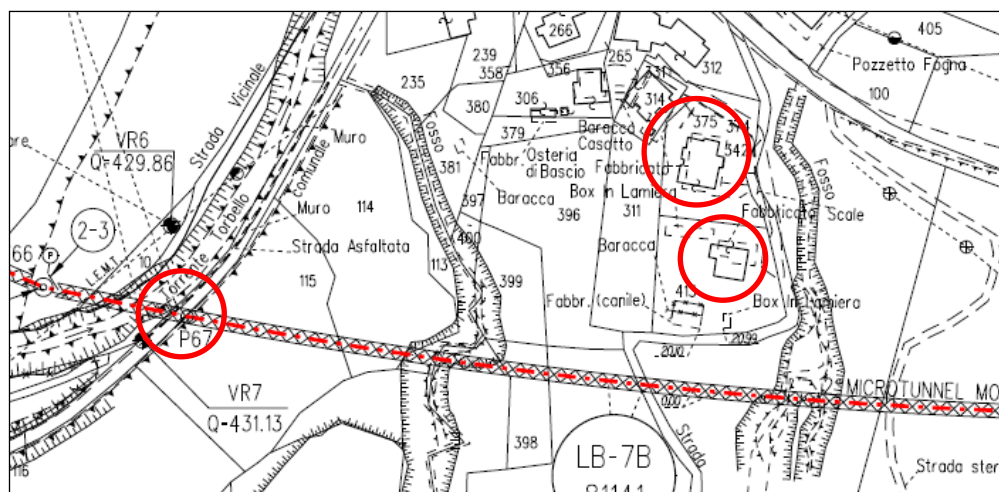
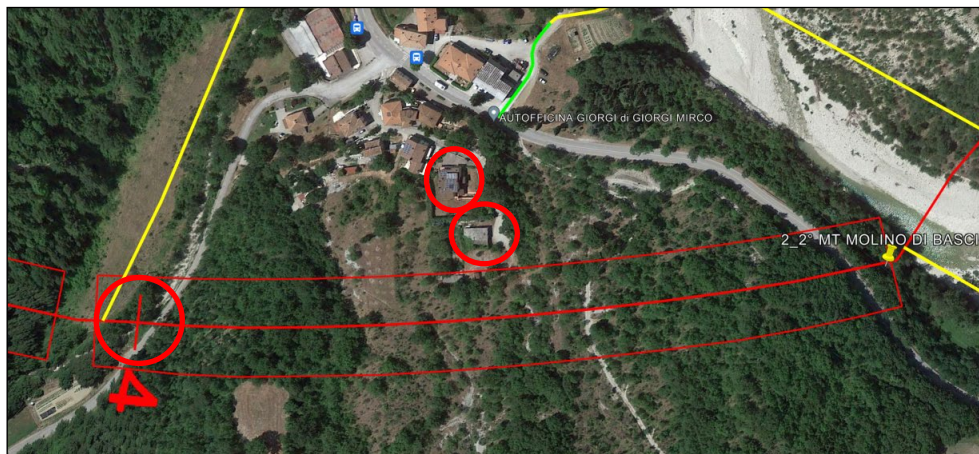
## APPENDICE A – RICETTORI E GEOLOGIA

La ricerca dei ricettori, ovvero dei manufatti che possono risentire delle vibrazioni dovute ai lavori è avvenuta mediante analisi di foto aeree.

Di seguito vengono riportate le foto e le planimetrie catastali nelle quali vengono indicate con un cerchio in rosso i ricettori oggetto di studio.

Per ogni opera per la quale sono stati individuati dei potenziali ricettori interessati si è anche riportata una sintesi delle caratteristiche geologiche dell'area

- **Tronco 1: SESTINO-CASTELDELICI**
  - Loc. Molino di Bascio 2 (vedi All. 1, 10-LA-E-80015\_r4)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 46 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto attraversa un rilievo collinare posto nel settore orientale rispetto all'abitato di Molino di Bascio, è collocata tra i vertici V66 e V68 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 446 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo.

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 1 prova MASW;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Nel sito d'investigazione è stata effettuata una tomografia elettrica. La distribuzione dei valori di resistività appare congruente con le stratigrafie ottenute nella campagna geognostica 2023. Infatti, a fronte superficialmente della presenza di strati di terreno a frazione granulometrica prevalente variabile, tra i 7/10 m di profondità fino alla profondità massima di investigazione, si evince una distribuzione dei valori di resistività apparente omogenea. Tale condizione può essere associata alla presenza di strutture litoidi intercettate per la quasi totalità della pseudosezione. In generale dalle misurazioni non è possibile individuarne il grado di fratturazione e la natura litologica (arenaria o argillite o marna) a cui si rimanda al rilievo stratigrafico in sito.




L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile**

**Unità 2 – Limi argillosi a consistenza da plastica a media con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea) – spessore compreso tra 2 e 4 m circa.**

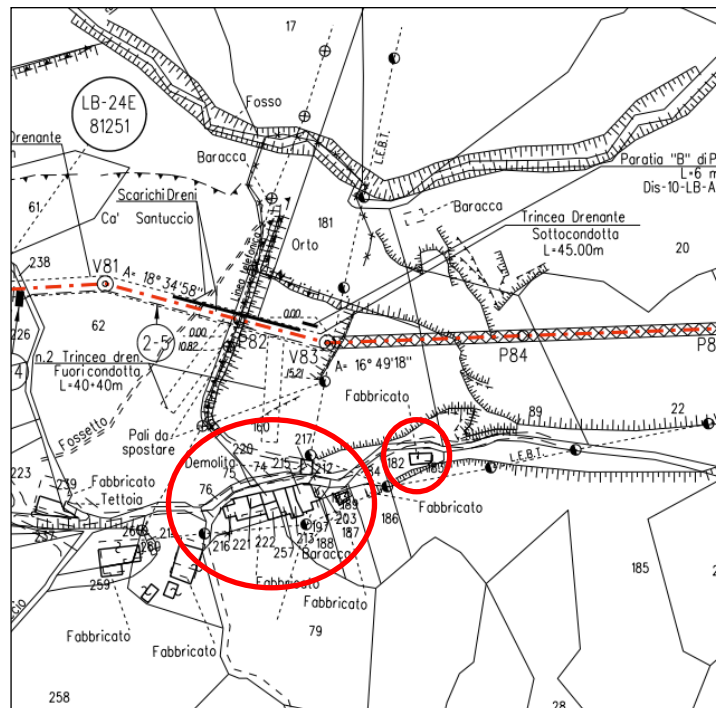
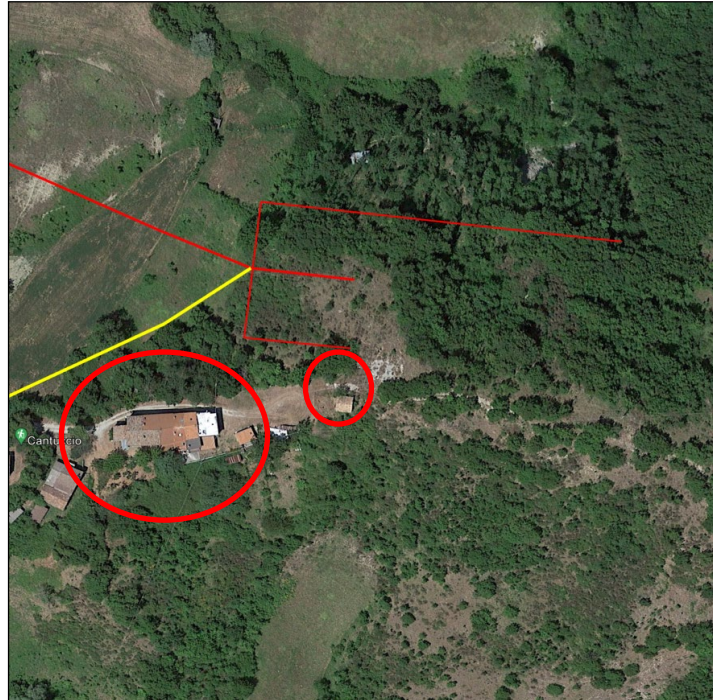
**Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**


<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 47 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

• **Tronco 2: CASTELDELICI - SARSINA**

- Loc. Colle Cantuccio (vedi All. 2, 10-LA-E-80020 r4)



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 48 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto è localizzata all'interno dei limiti amministrativi del comune di Sant'Agata Feltria (RN), nella regione Emilia-Romagna, attraversando M. Colle Cantuccio.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V83 e V87 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 442 metri.

Per caratterizzare il sito sono state eseguite delle indagini geognostiche.

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 2 sondaggi geognostici;
- n. 1 prova MASW, denominata MASW\_05\_SM\_L;
- n. 2 tomografie elettriche
- n.1 Prospezione sismica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Visto lo scopo dello studio, nel caso in esame si pone particolare attenzione alla sezione tomografica realizzata longitudinalmente alla trenchless, e alla prospezione sismica a rifrazione.

Dalla prima si deduce che fino ad una profondità di 10m di presenta un'area caotica, associabile a terreni con alternanza di frazioni granulometriche quali ghiaia, sabbia, limo e argilla. Il suo spessore tende ad aumentare lungo il pendio in direzione NE, il che fa pensare alla possibile presenza di una coltre detritica. Il substrato, che dai sondaggi è noto essere marna, si presenta generalmente compatto, da poco a molto fratturata nella porzione sommitale.

Con la prospezione sismica a rifrazione si è stato possibile investigare una profondità massima di circa 36 metri. Nel sismostrato più superficiale si registrano velocità delle onde P variabili tra 300 m/sec e 800 m/sec, riferibili alla coltre eluvio-colluviale. Nel sismostrato sottostante si riscontra un aumento delle velocità delle onde di compressione (Vp), che raggiungono valori massimi di 1500 m/sec. Sotto quest'orizzonte sismico si registra un ulteriore aumento delle velocità delle onde longitudinali (Vp), che raggiungono valori superiori ai 3500 m/sec nella parte inferiore del modello. Le velocità registrate sono riferibili a torbiditi marnoso-arenacee a vario grado di fratturazione, con diminuzione relativa dello stato di fratturazione con la profondità.

In definitiva l'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.





<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 49 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

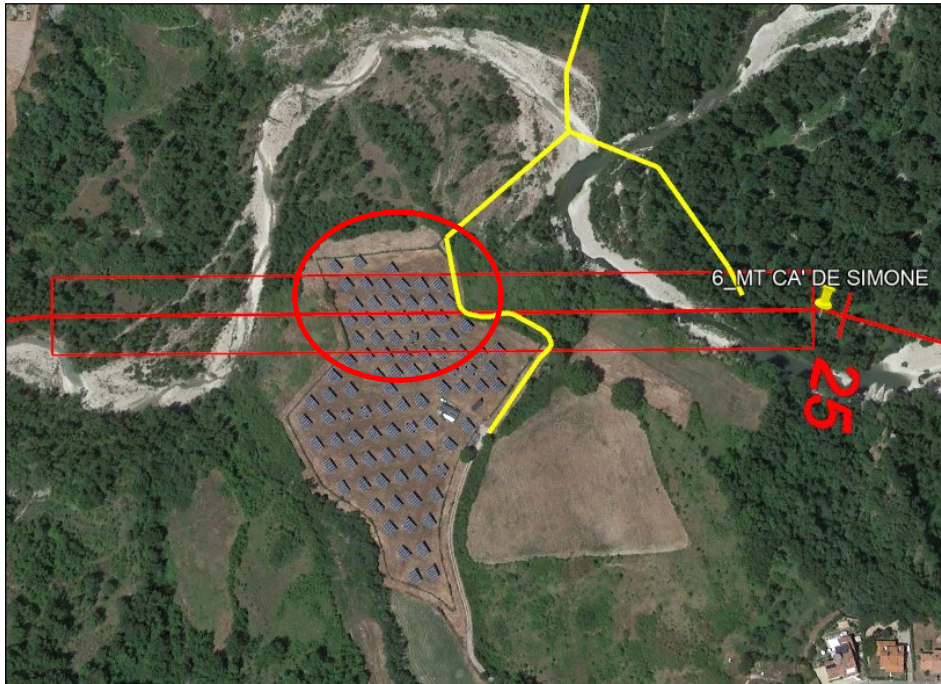
Unità 1 – **Limi argillosi a consistenza da plastica a media con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea) – spessore di 9 m circa.**

Unità 2 – **Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	<b>Pag. 50 di 77</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- Loc. Ca De Simone (vedi All. 3, 10-LA-E-80023 r4)



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 51 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto è localizzata all'interno dei limiti amministrativi del comune di Sant'Agata Feltria (RN). L'opera in progetto attraversa un'area sub pianeggiante in cui il Torrente Marecchiola confluisce nel Fiume Savio. In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V265 e V270 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 494 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto.

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 1 tomografia elettrica;
- n.2 prospezioni sismiche;
- n.1 Prospezione sismica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Visto lo scopo dello studio, nel caso in esame si pone particolare attenzione alla sezione tomografica realizzata longitudinalmente alla trenchless, e alla prospezione sismica a rifrazione.

La pseudosezione geoelettrica mostra una grande variabilità longitudinale soprattutto tra i primi 10/20 m di profondità. Infatti, si nota una distribuzione dei valori di resistività molto ampia associabile alla presenza sia di terreni con caratteristiche coesive come argilla e argilla limosa, sia di terreni di natura incoerente come sabbie limose e ghiaie/ghiaie sabbiose. Tra i 20 e i 30 m, invece, le misure risultano maggiormente omogenee e possono essere associate ad argilliti o a marne. Tale distinzione non è possibile al di sotto dei 30 m in cui compare un substrato roccioso omogeneo.

Con la prospezione sismica a rifrazione si è stato possibile investigare una profondità massima di circa 47 metri. S'individua un orizzonte sismico superficiale, dove le velocità delle onde longitudinali ( $V_p$ ) variano tra 200 m/sec e 800 m/sec, e possono essere associate alla coltre eluvio-colluviale e di frana. Nei due orizzonti sismici sottostanti si registra un aumento delle velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ), che raggiungono massimi di 1800 m/sec e possono essere associate ad argille limose, alterate nella parte superiore. Sotto quest'orizzonte sismico si riscontra un ulteriore aumento delle velocità delle onde P, che raggiungono valori superiori ai 3500 m/sec nella parte inferiore del modello. le velocità registrate sono riferibili a litotipi a depositi litificati a vario grado di fratturazione, con diminuzione relativa dello stato di fratturazione con la profondità.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 52 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>




Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

In definitiva l'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

**Unità 1 – Ghiaie e ciottoli con sabbia e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile**

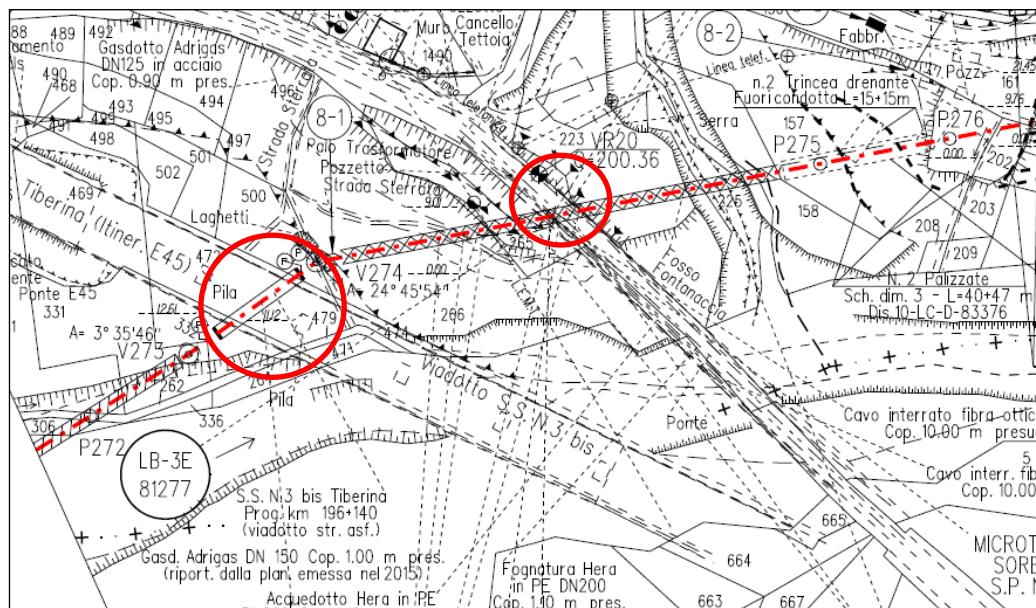
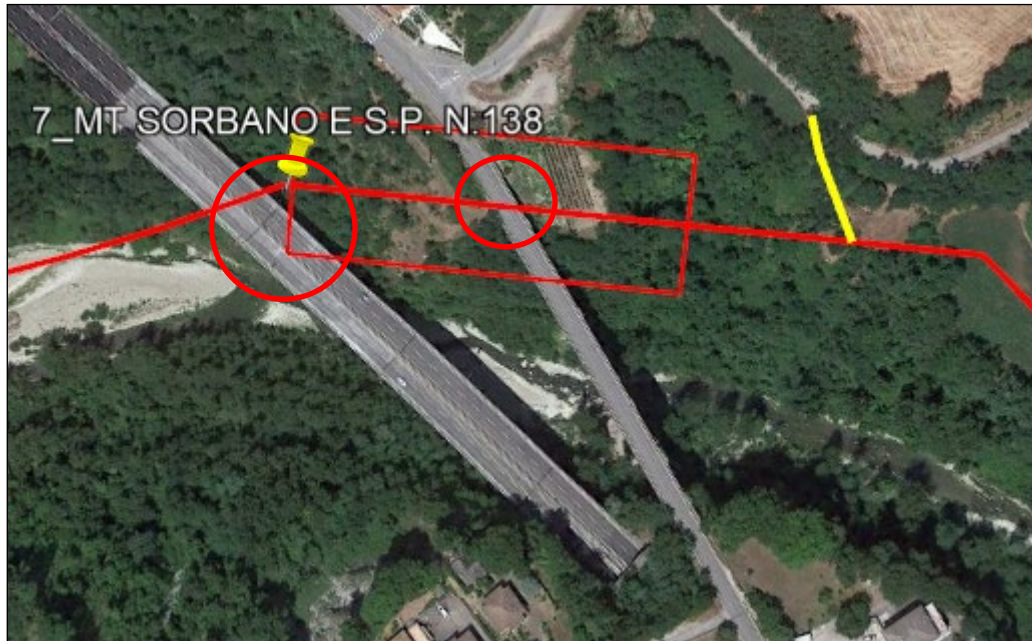
**Unità 2 – Argilla limosa da consistente a molto consistente - spessore 22 m circa.**

**Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	<b>Pag. 53 di 77</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- Loc. Sorbano (vedi All. 4, 10-LA-E-80024 r4)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 54 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Il microtunnel previsto, di lunghezza planimetrica pari a 141 metri è localizzato all'interno dei limiti amministrativi del comune di Sarsina (FC) ed attraversa il versante, in sinistra idrografica, della valle del Fiume Savio. In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V274 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 141 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto.

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 1 tomografia elettrica

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

La pseudosezione geoelettrica mostra una stratificazione iniziale al di sotto del piano campagna di natura argillosa limosa, in alcuni tratti sembra aumentare la frazione sabbiosa. Questa stratificazione è presente nei primi 10 m. Al di sotto di questo livello si estendono marne e arenarie probabilmente fratturate nella porzione superiore.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

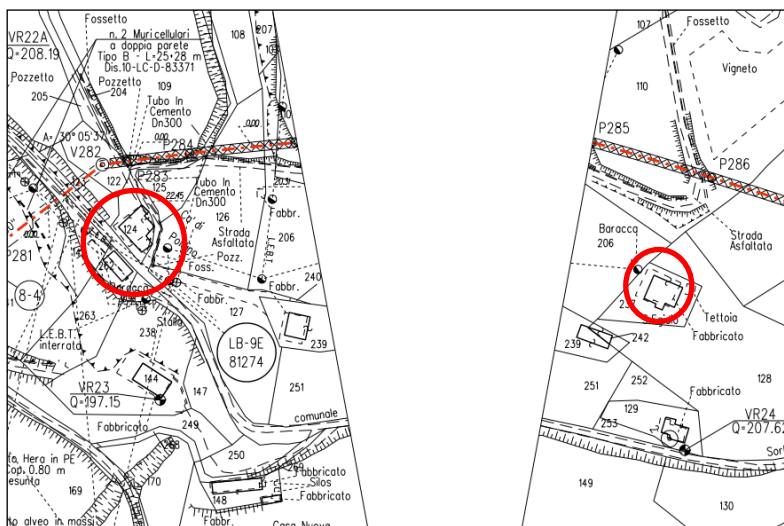
**Unità 1 – Argille e sabbie limose ed argille limose a consistenza da plastica-consistente a molto consistente-dura (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea e corpo di frana) – spessore molto variabile e anche intorno a 25m ove coinvolto in movimenti di versante.**

**Unità 2 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	<b>Pag. 55 di 77</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- Loc. Romagnano (vedi All. 5, 10-LA-E-80025 r4)



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 56 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto è localizzata all'interno dei limiti amministrativi del comune di Sarsina (FC), nella regione Emilia-Romagna, in sinistra idrografica del Fiume Savio.

In particolare, la galleria e il microtunnel sono localizzati rispettivamente tra i vertici P281 e P283 e tra P283 e P289 e hanno uno sviluppo inclinato tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di 481.32 metri (galleria 47 m + microtunnel 434.32 m).

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto.

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile**

**Unità 2 – Limi argillosi a consistenza da plastica a media con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea) – spessore compreso tra 2 e 4 m circa.**

**Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

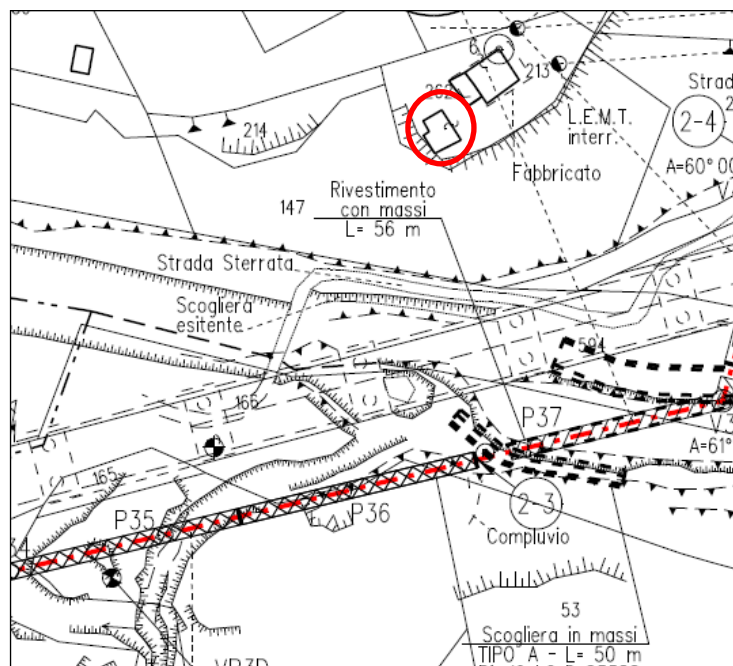



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 57 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- **Tronco 3: SARSINA – MERCATO SARACENO**

- Loc. Ponte Dello Zingaro (vedi All. 6, 10-LA-E-80026 r3)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 58 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto è localizzata a cavallo tra i comuni di Sogliano al Rubicone e di Mercato Saraceno (FC), nella regione Emilia-Romagna lungo il versante nordoccidentale in destra idrografica del Fiume Savio.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V32 e P37 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 381 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

La pseudosezione geoelettrica indica un primo strato tra i 5 e i 10 m di profondità composto principalmente di terreni a granulometria sabbiosa limosa sovrastante delle formazioni a prevalenza marnosa fino a circa i 20 m di profondità. Questo strato presenta diversi gradi di fratturazione. Al di sotto delle marne è possibile la presenza di un potente strato di arenite.



L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Ghiaie sabbiose e ciottolose, sabbie ghiaiose e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile**

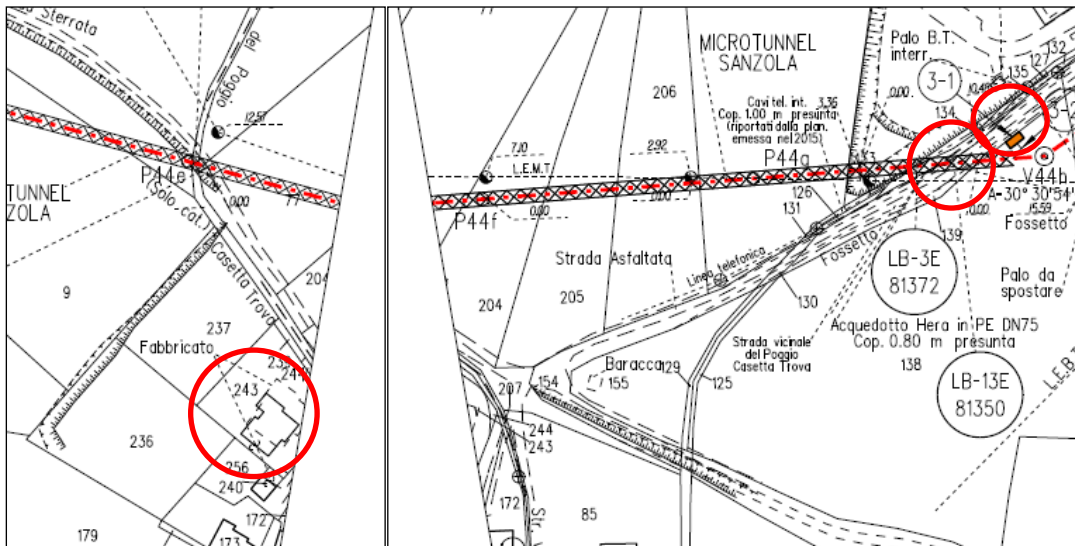
**Unità 2 – Argille limoso-sabbiose a consistenza da plastica a media con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea) – spessore 7 m circa**

**Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 59 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

– Loc. Sanzola (vedi All.7, 10-LA-E-80027 r3)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 60 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto è localizzata all'interno dei limiti amministrativi di Mercato Saraceno (FC), nella regione Emilia-Romagna, attraversando il versante orientale

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V44A e V44H e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 452 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dalla trivellazione.

In particolare, sono stati realizzati lungo l'area interessata dalla trenchless in progetto:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

La pseudosezione geoelettrica risulta piuttosto omogenea, infatti al di sotto di una piccola coltre di terreno argilloso limose è presente un grande banco omogeneo presumibilmente arenarie.



L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile.**

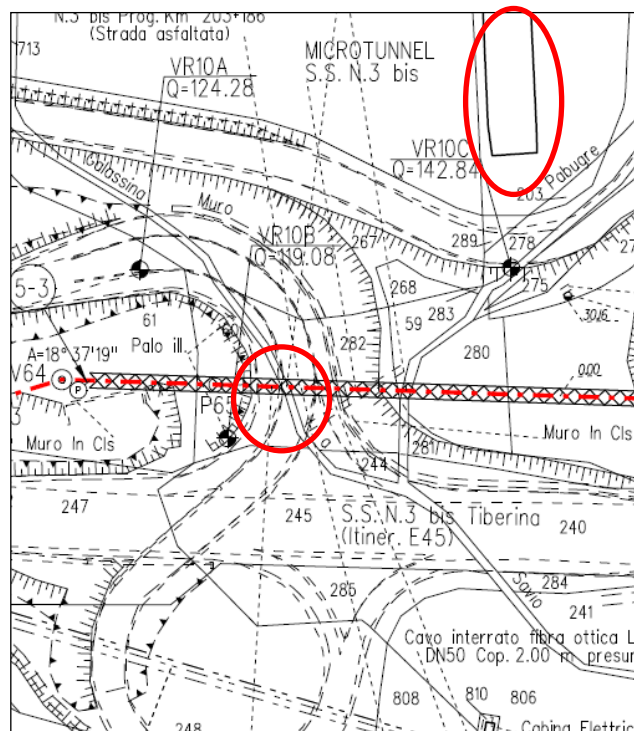
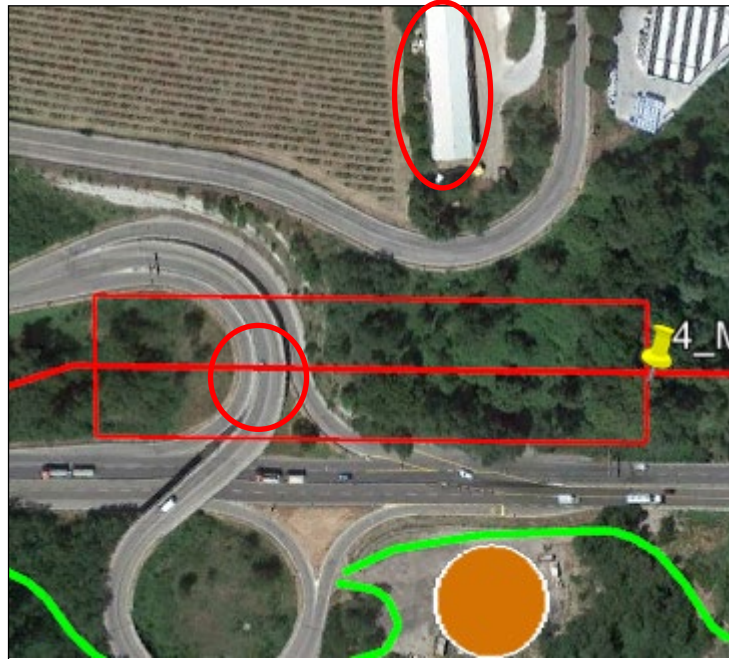
**Unità 2 – Limi argillosi da consistenti a molto consistenti con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea) e depositi alluvionali antichi nella frazione limoso-argillosa prevalente – spessore variabile.**

**Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 61 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Loc. Svincolo E45 (vedi All. 8, 10-LA-E-80031 r3)



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 62 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

La trenchless in progetto è localizzata all'interno dei limiti amministrativi del comune Mercato Saraceno (FC), nella regione Emilia-Romagna, parallelamente al Fiume Savio.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V64 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 195 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.




La pseudosezione geoelettrica indica un primo strato tra i 5 e i 7 m di profondità composto principalmente di terreni a granulometria argilloso limosa sovrastante delle marne o arenarie il cui grado di fratturazione risulta variabile sia con la profondità che longitudinalmente.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

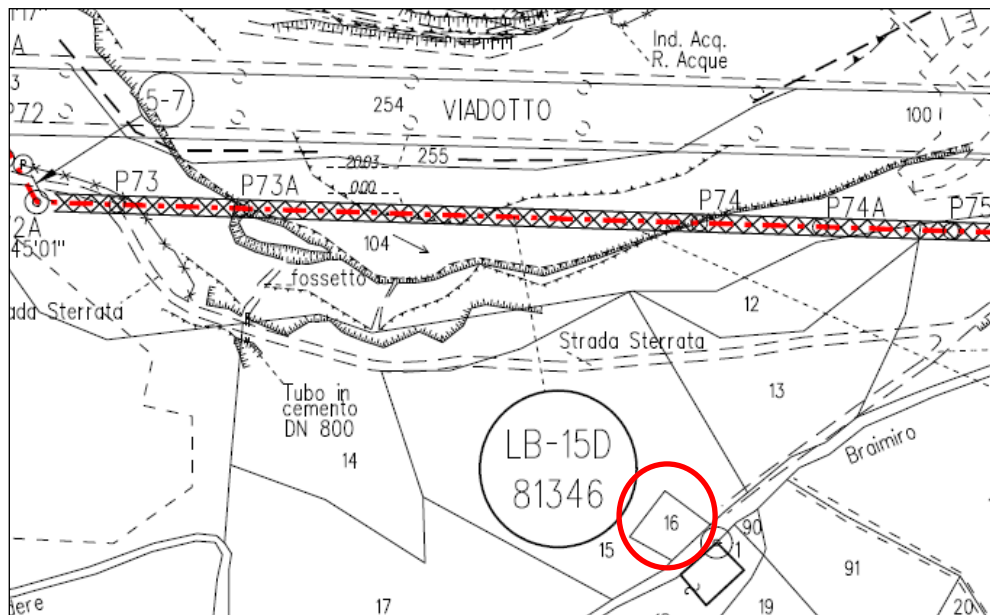
**Unità 1 – Limi argillosi a consistenza plastica con sabbie limose sciolte (coltre eluvio-colluviale) – spessore compreso tra 0 e 5 m circa tra S5bis e S6bis mentre >7.5 m in S047\_SM\_L.**

**Unità 2 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 63 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- Loc. Percorrenza Fiume Savio 1 (vedi All. 9, 10-LA-E-80310 r1)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 64 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Il microtunnel previsto è localizzato all'interno dei limiti amministrativi del comune di Mercato Saraceno (FC), al fine di attraversare, in destra idrografica, l'ansa del Fiume Savio.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V72A e V76A e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 329 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 sismica a riflessione.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.


La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e sabbie limose sciolte (alluvioni) – spessore variabile**

**Unità 2 – Limi argillosi a consistenza da plastica a media con sabbie limose sciolte (coltre di alterazione superficiale della Formazione Marnoso-Arenacea, Ghioli di Tetto e della Formazione a Colombacci) - spessore variabile**

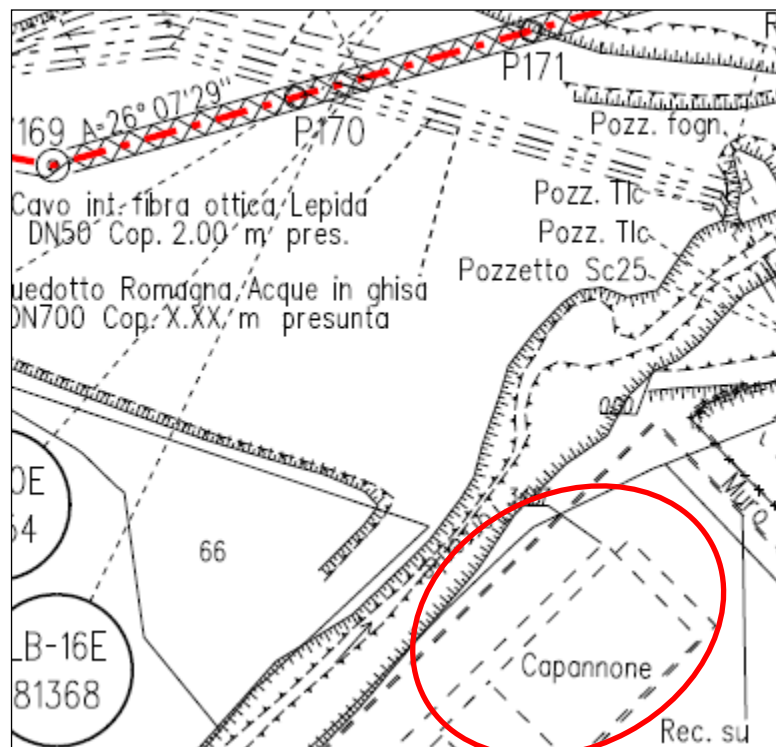
**Unità 3 – Alternanze di siltite marnosa, arenarie, marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata) – spessore non definito.**




<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 65 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- Loc. Seconda Percorrenza Fiume Savio (vedi All.10, 10-LA-E-80311 r1)



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 66 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Il microtunnel previsto è localizzato all'interno dei limiti amministrativi del comune di Sogliano al Rubicone e Roncofreddo (FC), al fine di superare un meandro afferente al Fiume Savio. Entrambe le estremità del microtunnel sono posizionate in destra idrografica del suddetto corso d'acqua.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.



La pseudosezione geoelettrica indica la presenza di terreni fortemente granulari in superficie all'interno di un range che va dai 5 m ai 20 m. Al di sotto di questo livello sono presenti formazioni con caratteristiche maggiormente coesive. In profondità compare una diffusa presenza di argillite.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e ghiaie e ciottoli sciolte (alluvioni) – spessore variabile**

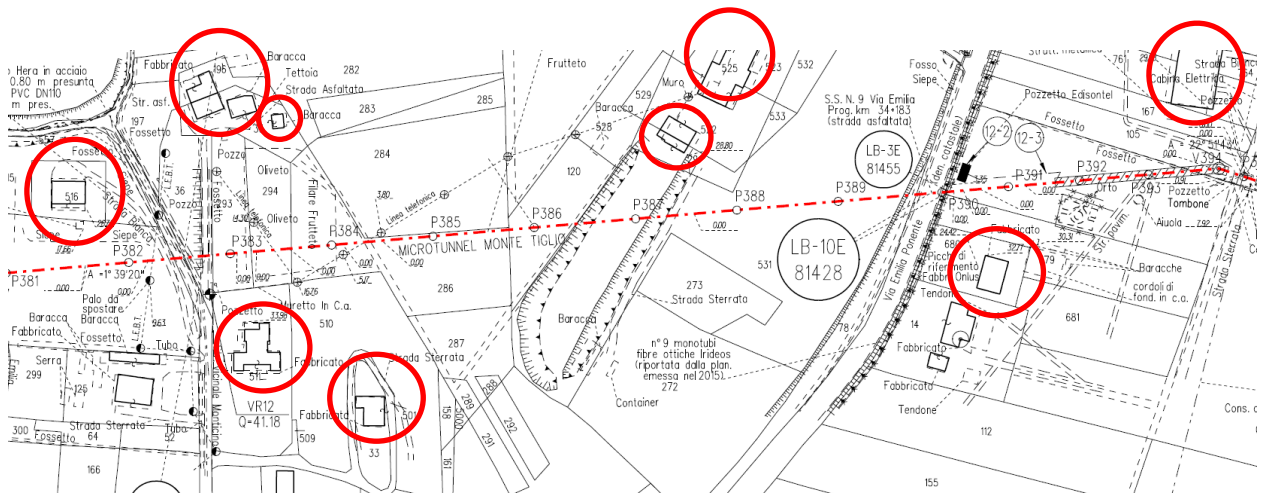
**Unità 2 – alternanza di argille sovraconsolidate ed argilliti marnose – spessore maggiore di 30 m (bedrock).**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	<b>Pag. 67 di 77</b>	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- **Tronco 4: MERCATO SARACENO – CESENA**

- Loc. Monte Tiglio (vedi All. 11, 10-LA-E-80033\_r3)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 68 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

L'area oggetto di studio è ubicata all'interno del territorio comunale di Cesena in loc. Monte Tiglio, posta a nord ovest di Cesena e a nord est del comune di Bertinoro. L'opera in progetto avanza da sud-est verso nord-ovest attraversando un rilievo collinare isolato posizionato in una piana alluvionale e con un'altitudine di 65.5 m s.l.m.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V380 e P392 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 530 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.



La pseudosezione geoelettrica indica una gran variabilità litologica all'interno dei primi 20 m di profondità. In particolare, dai valori di resistività apparente registrati, sussiste una litologia predominante di argilla limosa, ma sporadicamente sono presenti, sia in superficie che in profondità, degli strati maggiormente sabbiosi. Al di sotto di questo livello la formazione maggiormente diffusa è associabile ad una argilla da limosa a debolmente limosa.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

Unità 1 – **Sabbie limose a luoghi argillose, con possibile presenza di zone ghiaiose, sciolte (alluvioni)** – spessore variabile

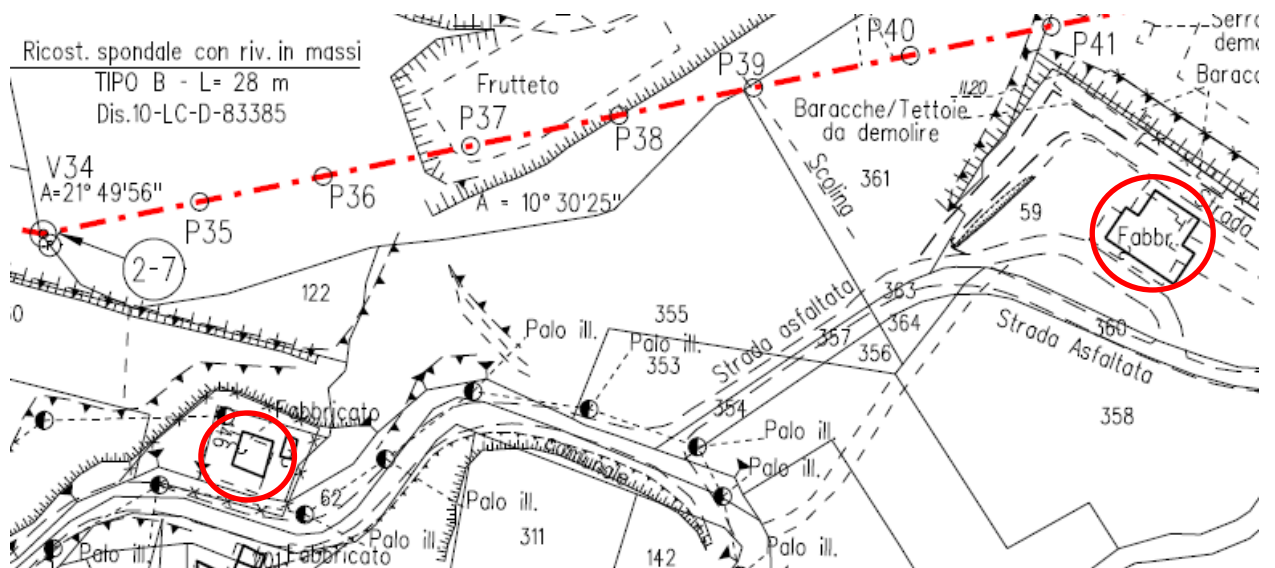
Unità 2 – **Argille limose a luoghi torbose consistenti (alluvioni)** – spessore variabile

Unità 3 – **Alternanze di arenarie e subordinate marne in strati a potenza variabile da compatti a fratturati (bedrock litoide e coltre superficiale alterata e/o molto fratturata)** – spessore non definito.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>		<b>00-LA-E-00078</b>
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>		<b>Pag. 69 di 77</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- Loc. Casetto (vedi All. 12, 10-LA-E-80045 r1)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 70 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

L'area oggetto di studio è ubicata ad est dell'abitato di Borello, Comune di Mercato Saraceno (FC), nella regione Emilia-Romagna, lungo la valle del Fiume Savio e a circa 5 km a nord del capoluogo.

Il microtunnel previsto è localizzato all'interno dei limiti amministrativi del comune di Cesena (FC), in destra idrografica del Fiume Savio, al fine di attraversare il versante orientale di un rilievo collinare, il quale nel tratto di attraversamento presenta una leggera pendenza.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V34 e P44 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione di circa 305 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 tomografia elettrica;
- n. 1 prova MASW.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Dalla pseudosezione si evidenziano diverse formazioni superficiali che possono essere associate, a causa degli alti valori di resistività, a ghiaie o a terreni argillosi da consistenti a molto consistenti. Con la profondità emergono delle possibili alternanze tra strati argillosi e marne. L'area identificata dalle resistività più basse, alla quota di 55 m può essere associata ad un'argilla limosa.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Sabbie con ghiaie e limi sabbiosi sciolti con livelli argillosi a bassa consistenza (alluvioni) – spessore variabile**

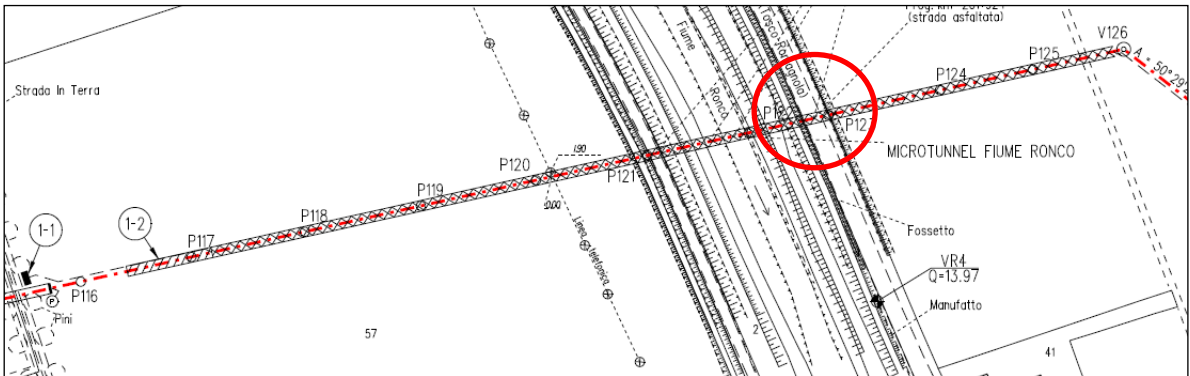
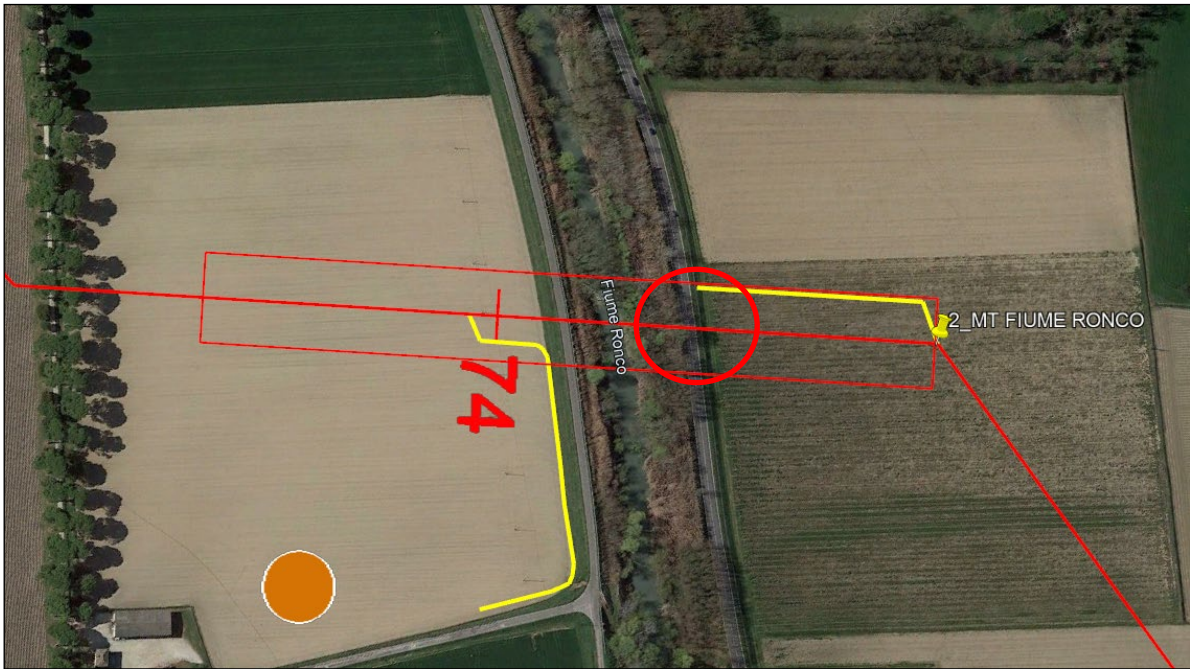
**Unità 2 – alternanza di argille sovraconsolidate ed argilliti marnose – spessore maggiore di 30 m (bedrock).**

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 71 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- **Tronco 6: FORLI' - RAVENNA**

- Loc. Fiume Ronco (vedi All. 13, 10-LA-E-80035 r4)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 72 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Nell'ambito della progettazione del metanodotto "Sestino-Minerbio DN 1200 (48")", DP 75 bar", all'interno del territorio comunale di Ravenna (RA), è stata prevista la realizzazione di un microtunnel, avente una lunghezza planimetrica complessiva pari a 400.74 m, al fine di attraversare il corso del Fiume Ronco. In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici P117 e V126

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto. In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche (Figure 7-A):

- n. 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- n. 1 tomografia elettrica

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

La pseudosezione geoelettrica indica la presenza di terreni fortemente coesivi che rappresentano la formazione predominante dell'area. Solo nei primi 10 m di profondità si evidenziano alcune tracce della presenza di strati che possono essere a predominanza sabbiosa, ma da questo livello in poi è presente argilla limosa o debolmente limosa.

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio:




**Unità 1 – Sabbie limose debolmente argillose sciolte (coltre oggetto di variazione del livello di falda) – spessore variabile tra 2.00 e 16.00 m.**

**Unità 1a – Argilla sabbiosa dura, sovraconsolidata (coltre oggetto di variazione del livello di falda) – spessore variabile tra 4.00.**

**Unità 2 – Alternanze irregolari con andamenti lenticolari costituiti da terreni sia a comportamento granulare e sia coesivo:**

- **Sabbie fini limose da sciolte a mediamente addensate**
- **Limi argilloso-sabbiosi a consistenza media**

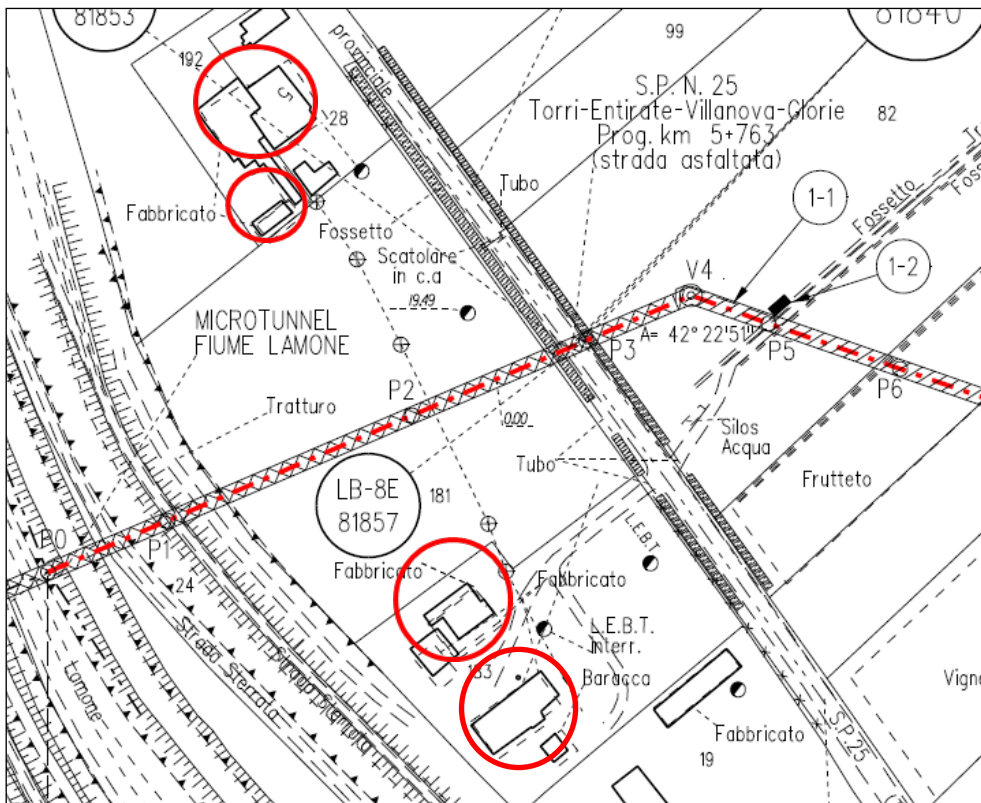
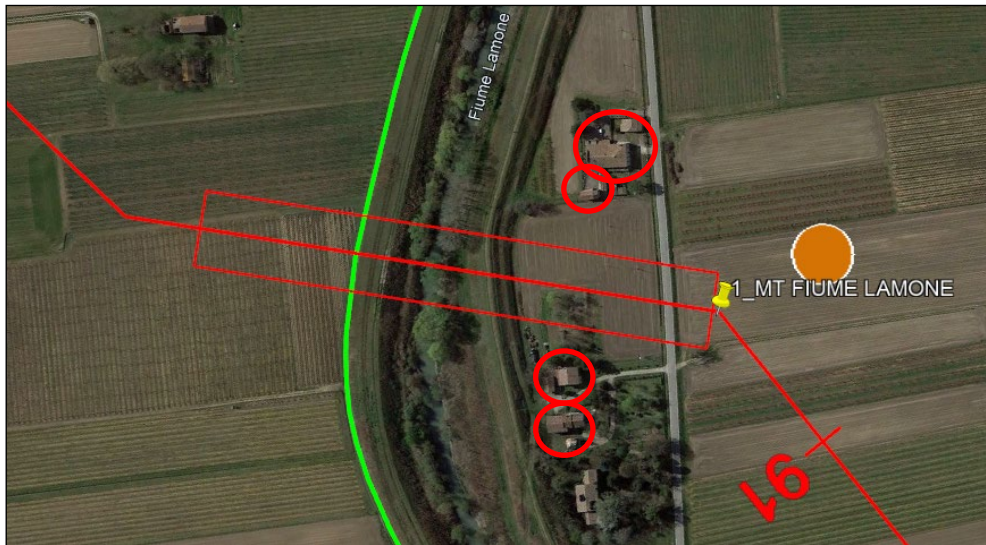


PROPRIETARIO  	PROGETTISTA   	COMMESSA <b>NQ/R22358</b>	CODICE TECNICO
	LOCALITA' <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	PROGETTO / IMPIANTO <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO          DN 1200 (48") DP - 75 bar</b>	Pag. 73 di 77	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

- **Tronco 8: RAVENNA (Fiume Lamone) - ALFONSINE**

- Loc. Fiume Lamone (vedi All. 14, 10-LA-E-80044 r3)



<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 74 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

Il microtunnel previsto si sviluppa lungo un'area pianeggiante, perpendicolarmente al Fiume Lamone.

In particolare, il microtunnel è localizzato tra i vertici V212, V4 e ha uno sviluppo tra punto di intestazione e punto di arrivo della trivellazione pari a 340,14 metri.

Nell'ambito della progettazione dell'attraversamento sono state eseguite nel tempo diverse campagne di indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo dell'area ed alla definizione dei parametri geotecnici dei litotipi interessati dall'opera in progetto.

In particolare, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 1 tomografia elettrica.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di penetrazione dinamica a fondo foro (SPT) a diverse quote e sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati e rimaneggiati di terreno che sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

La pseudosezione geoelettrica indica una gran varietà di formazioni con caratteristiche sia granulari sia coesive distribuite in modo caotico e non uniforme

L'analisi delle risultanze delle indagini (dirette e indirette) e delle prove geotecniche di laboratorio eseguite hanno consentito la ricostruzione di un modello geotecnico relativamente al sito progettuale.

La caratterizzazione geotecnica di questi corpi è stata definita mediante l'interpretazione dei dati ottenuti nelle indagini penetrometriche S.P.T. e nelle indagini di laboratorio.

**Unità 1 – Sabbie limose debolmente argillose sciolte (coltre oggetto di variazione del livello di falda) – spessore variabile tra 7.00 e 12.00 m.**

**Unità 2 – Alternanze irregolari con andamenti lenticolari costituiti da terreni sia a comportamento granulare e sia coesivo:**

**Sabbie fini limose da sciolte a mediamente addensate**

**Limi argilloso-sabbiosi a consistenza media**

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 75 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

## APPENDICE B – FASI DI LAVORO

Per l'esecuzione del Microtunnel si opererà secondo le modalità riportate di seguito.

### **Preparazione aree di cantiere**


Per la preparazione dei siti previsti per l'installazione delle aree di cantiere si prevedono i seguenti lavori:

- sistemazione/realizzazione di strade di accesso;
- rimozione di eventuali ostacoli;
- eventuali spianamenti del terreno;
- prosciugamento delle aree destinate all'alloggiamento delle postazioni di partenza e arrivo (operando sottofalda);
- eventuale drenaggio (da prevedersi in caso di aree con rischio di allagamento);
- preparazione delle aree per l'alloggiamento di containers e stoccaggio materiali;
- preparazione aree destinate allo stoccaggio dello smarino;
- installazione del cantiere.

### **Postazione di partenza ed installazione delle apparecchiature**

La realizzazione della postazione di partenza, prevista per il progetto, prevede l'esecuzione delle seguenti attività:

- realizzazione della postazione di trivellazione interrata mediante l'installazione di strutture di contenimento verticali e del piano di calpestio con tipologie adeguate a resistere ai carichi esterni, alla spinta delle terre ed alle spinte idrostatiche.
- esecuzione della postazione di partenza per l'alloggiamento della macchina di spinta;
- delimitazione e chiusura, con apposita recinzione, delle aree di cantiere e di scavo;
- costruzione soletta di base per appoggio strutture di spinta e alloggiamento guide in acciaio;
- installazione degli elementi per la guida delle apparecchiature di perforazione;
- installazione apparecchiature di spinta;
- installazione delle apparecchiature di perforazione;
- installazione del sistema di trasporto a giorno dello smarino mediante sistema idraulico;
- installazione di attrezzature e strumentazioni varie;
- apertura foro nella parete frontale;
- messa in opera dell'anello di guida e della guarnizione tenuta;
- installazione sistema di controllo della direzione.

<b>PROPRIETARIO</b>  	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 76 di 77	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

### ***Elementi tubolari in c.a.***

Gli elementi tubolari impiegati per il rivestimento del tunnel sono in c.a. vibrati, calcolati per resistere alla spinta assiale prodotta dalla stazione di spinta durante la messa in opera degli elementi stessi, ed ai carichi superiori, gravati secondo quanto stabilito dalle vigenti norme.

### ***Esecuzione del Microtunnel***

#### **- Scavo del tunnel**

Lo scavo del tunnel avviene mediante l'avanzamento di uno scudo cilindrico a cui è applicata frontalmente una fresa rotante dello stesso diametro dello scudo.

Durante la fase di scavo, la testa della macchina è quindi lubrificata con una miscela di bentonite e acqua, trasportata tramite un sistema di circolazione chiuso.

La testa della macchina di scavo opera sotto una campana di aria compressa o di una miscela di acqua/bentonite; comunque è tenuta sempre in pressione. L'avanzamento della testa fresante avviene mediante la spinta degli elementi tubolari in c.a. che vengono successivamente infissi dalla postazione di spinta.

#### **- Infissione degli elementi tubolari nel terreno**

Per l'avanzamento degli elementi tubolari in c.a. è utilizzata una unità spingitubo collocata all'interno del pozzo di spinta. L'unità di spinta è composta da martinetti idraulici montati su un telaio metallico, da un anello di spinta mobile posto davanti ai martinetti idraulici e da una parete metallica di spinta fissa posta dietro i martinetti.


Quando un elemento è completamente spinto nel terreno, i martinetti idraulici e l'anello di spinta sono retratti per l'inserimento di un nuovo elemento.

Il nuovo elemento è calato all'interno del pozzo e incastrato all'estremità dell'elemento precedente. Non appena ultimato l'incastro la spinta riprende.

Per ridurre l'attrito tubo/terreno è impiegata una miscela bentonitica come lubrificante esterno. Le giunzioni tra i conci in c.a. sono di tipologia idonea per consentire la deviazione angolare del microtunnel e la tenuta idrica. L'incastro ed il centraggio tra due tubi successivi sono garantiti mediante un'opportuna sagomatura dei bordi oppure con collari di acciaio annegati nel getto.

#### **- Trasporto a giorno dello smarino tramite sistema idraulico**

Il materiale scavato viene evacuato dalla parte anteriore dello scudo e portato in una unità di frantumazione. Il materiale frantumato viene miscelato con acqua e formare una miscela fluida (slurry) e quindi smaltita all'esterno attraverso un sistema di riciclo fino ad una unità di dissabbiatura e decantazione in apposita vasca impermeabilizzata.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>CODICE</b> <b>TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>00-LA-E-00078</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO-MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48") DP – 75 bar</b>	Pag. 77 di 77	<b>Rev.</b> 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-3201-145

### **Controlli**

Essendo necessario il controllo in tempo reale della direzionalità del microtunnel durante l'operazione di spinta, viene approntato un sistema computerizzato di elaborazione dati rilevati mediante puntamento ottico e laser o sistema di auto-guida.

L'operatore addetto alla verifica opera con continuità sulla consolle di comando per le necessarie correzioni.

### **Esecuzione postazione di uscita**

Nel punto terminale del tunnel si provvede all'esecuzione della postazione di arrivo per il recupero dello scudo e delle apparecchiature di scavo. Nel caso risulti necessario, in relazione alle condizioni geologiche locali, si può prevedere il consolidamento del terreno, in adiacenza al punto di uscita della testa fresante.

### **Posizionamento del metanodotto nel Microtunnel**

La posa della condotta nel tunnel viene effettuata "varando" una colonna prefabbricata in esterno, oppure realizzando le saldature in corrispondenza dell'estremità del tunnel stesso.

La condotta è separata dalla parete del microtunnel mediante distanziatori in malta poliuretanicca gettati in opera posti ad un determinato interasse con resistenze caratteristiche adeguate alle sollecitazioni a cui sono sottoposti durante le operazioni di varo.

### **Riempimento intercapedine tra gli elementi del Microtunnel ed il terreno**

Lo spazio presente tra la parete esterna degli elementi del microtunnel e il terreno viene saturato mediante iniezione di bentonite e/o boiaccia di cemento attraverso appositi ugelli predisposti nei tubi in c.a.

### **Intasamento del Microtunnel**

Dopo le operazioni di infilaggio del tubo in acciaio e dei tubi portacavi, l'intercapedine tra la parete interna del Microtunnel ed i tubi suddetti viene intasata con miscele cementizio/bentonitiche realizzate secondo le specifiche previste dal Cliente.

Preliminarmente alle operazioni d'intasamento, vengono realizzate, in corrispondenza delle due estremità, le strutture per il contenimento all'interno del tunnel della miscela fluida.

### **Ripristino delle aree di cantiere e demolizione delle opere in c.a.**

A fine dei lavori, tutte le aree di cantiere interessate vengono ripristinate per ricostituire la morfologia originaria del terreno. Vengono inoltre realizzate le opere previste per il recupero ambientale delle aree interessate dai lavori.

Vengono ripristinati tutti gli accessi temporanei agli imbocchi utilizzati in corso di esecuzione di lavori, in modo da restituire le originarie morfologie alle aree interessate dai lavori.

Le opere in c.a. vengono demolite quanto più possibile e comunque per una profondità minima di 1.50 m dal piano campagna originale, fatto salvo le parti la cui demolizione potrebbe non essere funzionale all'esercizio del Microtunnel.